

**Internationaler  
Erfahrungsaustausch  
zur Weiterentwicklung  
des Standes von  
Wissenschaft und  
Technik zur Stilllegung  
von Kernkraftwerken und  
Forschungsreaktoren**

## **Internationaler Erfahrungsaustausch zur Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Stilllegung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren**

Sebastian Schneider  
Thomas Braunroth  
Matthias Dewald  
Björn-A. Dittmann-Schnabel  
Przemyslaw Imielski  
Johannes Nicol  
Richard Spanier

März 2022

### **Anmerkung:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) unter dem Förderkennzeichen 4719R01352 durchgeführt.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der GRS.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung der GRS wieder und muss nicht mit der Meinung des BMUV übereinstimmen.

**Deskriptoren**

IAEA, internationale Arbeitsgruppen, internationaler Erfahrungsaustausch, OECD/NEA, Stilllegung, Workshops

## Inhalt

|          |  |            |
|----------|--|------------|
|          | <b>Kurzfassung.....</b>  | <b>III</b> |
|          | <b>Abstract.....</b>   | <b>V</b>   |
| <b>1</b> | <b>Einleitung und Zielstellung .....</b>   | <b>1</b>   |
| <b>2</b> | <b>Kurzdarstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und<br/>Technik.....</b>  | <b>3</b>   |
| <b>3</b> | <b>Sammlung und Bewertung internationaler Erfahrungen und<br/>Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsrückfluss<br/>national.....</b>                | <b>5</b>   |
| 3.1      | Ergebnisse der Internetrecherche zu internationalen Erkenntnissen<br>und Erfahrungen auf dem Gebiet der Stilllegung.....                                     | 5          |
| 3.1.1    | Überblick.....   | 5          |
| 3.1.2    | Leistungsreaktoren .....   | 7          |
| 3.1.3    | Forschungsreaktoren .....  | 24         |
| 3.2      | Teilnahme an Konferenzen und Workshops .....   | 27         |
| 3.2.1    | DigiDecom 2019 .....   | 27         |
| 3.2.2    | International Conference on Nuclear Decommissioning (ICOND) 2020 ...   | 32         |
| 3.2.3    | International Conference on Decommissioning Challenges: Industrial<br>Reality, Lessons Learned and Prospects (DEM) 2021 .....                                | 35         |
| <b>4</b> | <b>Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in<br/>internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung.....</b>                                 | <b>43</b>  |
| 4.1      | Projekte der IAEA .....  | 43         |
| 4.1.1    | Forum des International Decommissioning Network .....  | 44         |
| 4.1.2    | IDN WIKI Workshop for Moderators (2019).....   | 55         |
| 4.1.3    | Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence<br>Building and Knowledge Management for Decommissioning (2020).....                              | 59         |
| 4.1.4    | Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence<br>Building and Knowledge Management, including Role of IAEA<br>Collaborating Centres (2021)..... | 64         |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.1.5    | International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC) .....   | 68         |
| 4.1.6    | IAEA Workshop Dounreay .....  | 77         |
| 4.2      | Arbeitsgruppen und Workshops der OECD/NEA .....   | 81         |
| 4.2.1    | Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of<br>Decommissioning and Legacy Management (WPTES).....     | 82         |
| 4.2.2    | Expert Group on a Holistic Process for Decision Making on<br>Decommissioning and Management of Complex Sites (HDCS) ..... | 84         |
| 4.2.3    | Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste<br>Management Programmes and Decommissioning (EGKM) .....      | 88         |
| 4.2.4    | Expert Group on the Application of Robotics and Remote Systems in<br>the Nuclear Back-end (EGRRS) .....                   | 92         |
| 4.2.5    | NEA-Workshop: Regulatory Framework of Decommissioning, Legacy<br>Sites and Wastes from Decommissioning .....              | 100        |
| 4.3      | Mitarbeit in sonstigen internationalen Netzwerken .....   | 105        |
| 4.3.1    | Share-Workshops der Europäischen Union (2020/2022) .....  | 105        |
| 4.4      | Erfahrungsaustausch und Hospitationen bei ausländischen Projekten ..  | 109        |
| 4.4.1    | Erfahrungsaustausch zwischen ENSI (CH) und GRS (2019) .....   | 109        |
| <b>5</b> | <b>Erstellung von Beiträgen zum nationalen Erfahrungsrückfluss .....</b>  | <b>123</b> |
| 5.1      | 62. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ .....  | 123        |
| 5.2      | 63. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ .....  | 125        |
| 5.3      | 65. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ .....  | 125        |
| 5.4      | Fazit zum nationalen Erfahrungsrückfluss.....   | 125        |
| <b>6</b> | <b>Gesamtfazit .....</b>  | <b>127</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis.....</b>  | <b>131</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>   | <b>139</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis.....</b>   | <b>141</b> |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>   | <b>143</b> |

## **Kurzfassung**

Im Vorhaben „Internationaler Erfahrungsaustausch und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Stilllegung von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren“ wurden Erfahrungen mit der Stilllegung im europäischen Ausland auf verschiedene Weise gesammelt und ausgewertet.

Durch die Teilnahme an und Auswertung von internationalen Konferenzen und die Analyse der präsentierten Inhalte konnten aktuelle Trends und Schwerpunkte festgemacht werden, die zurzeit in der Diskussion sind, beispielsweise die Digitalisierung in Form von virtueller Realität oder Gebäude-Informationen-Management. Obwohl sich die politischen Randbedingungen und die jeweiligen technischen Herausforderungen von Projekt zu Projekt unterscheiden, sind dennoch viele Gemeinsamkeiten festzustellen.

Der Erfahrungsaustausch fand ferner durch die aktive Mitarbeit in internationalen Netzwerken, Projekten und Arbeitsgruppen statt. Diese sind entweder unter dem Dach der Internationalen Atomenergie-Organisation (engl. IAEA) oder der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (engl. OECD) und ihrer Kernenergieagentur (engl. NEA) organisiert. Hierbei wurde in IAEA-Projekten unter dem Dach des IDN (International Decommissioning Network) aktiv mitgearbeitet. Die Arbeiten in Expertenrunden der OECD/NEA fanden in Untergruppen des „Radioactive Waste Management Committee“ (RWMC) sowie des „Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management“ (CDLM) statt.

Besonders konkret stellte sich der technische Erfahrungsaustausch bei der schweizerischen Behörde ENSI dar. Schwerpunkt der persönlichen Gesprächsrunde war die Ende 2019 bevorstehende Stilllegung des schweizerischen Kernkraftwerks (KKW) Mühleberg und die dazu eingesetzten Arbek-Systeme.

Die Erkenntnisse, die durch Vorträge, Projektarbeiten, Besichtigungen und technischen Austausch gewonnen wurden, können sich als Ressource auch für deutsche Abbauprojekte als nützlich erweisen bzw. die Planung des Abbaus verkürzen.



## **Abstract**

In the project „International exchange of experience and further development of the state of the art in science and technology for decommissioning of nuclear power plants and research reactors“, experience with decommissioning in other European countries was collected and evaluated in various ways.

By participating in and evaluating international conferences and analysing the content presented, it was possible to identify current trends and focal points that are currently under discussion, such as digitalisation in the form of virtual reality or building information management. Although the political boundary conditions and the respective technical challenges differ from project to project, many commonalities can nevertheless be identified.

The exchange of experience also took place through active participation in international networks, projects and working groups. These are organised either under the umbrella of the International Atomic Energy Agency (IAEA) or the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) and its Nuclear Energy Agency (NEA). In this context, there was active cooperation in IAEA projects under the umbrella of the IDN (International Decommissioning Network). The work in Expert Groups of the OECD/NEA took place in subgroups of the „Radioactive Waste Management Committee“ (RWMC) and the „Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management“ (CDLM).

The technical exchange of experience at the Swiss authority ENSI was particularly concrete. The focus of the face-to-face discussions was the decommissioning of the Swiss nuclear power plant Mühleberg, which was scheduled for the end of 2019, and the Arbek systems used for this purpose.

The knowledge gained through lectures, project work, visits and technical exchanges can also prove useful as a resource for German dismantling projects or shorten the planning of dismantling.



# 1 Einleitung und Zielstellung

Wie der Informationsdienst Power Reactor Information System (PRIS) der IAEA zeigt, befinden sich derzeit weltweit 199 KKW im Nachbetrieb oder in der Stilllegung /IAE 22/. Mit Blick auf das derzeitige Alter einer Vielzahl von im Betrieb befindlichen Leistungsreaktoren weltweit ist in den kommenden Jahren noch mit einer weiteren Steigerung an Stilllegungsprojekten zu rechnen. Damit einher geht der Bedarf auf internationaler Ebene, einen intensivierten Erfahrungsaustausch zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen zu etablieren und den Stand von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung weiterzuentwickeln, um einen bestmöglichen Schutz von Mensch und Umwelt bei der Durchführung von Stilllegungsprojekten zu gewährleisten. Dies drückt sich derzeit bereits durch die Etablierung einer nicht unerheblichen Anzahl an stilllegungsbezogenen Konferenzen und Symposien und internationalen Projekten aus, welche sich mit verschiedensten Aspekten der Stilllegung kerntechnischer Anlagen befassen. Aufgrund der international wachsenden Bedeutung der Stilllegung ist mit einem weiteren Anstieg dieser Aktivitäten zu rechnen.

In Europa, aber auch weltweit kommt Deutschland in Bezug auf den Erfahrungsaustausch und die Weiterentwicklung von Empfehlungen zur sicheren Durchführung von Stilllegungsprojekten eine bedeutende Rolle zu. Schließlich wurde nach dem Entzug der Berechtigung zum Leistungsbetrieb von acht Anlagen im Jahr 2011 und dem Beschluss des beschleunigten Ausstiegs aus der Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung von Elektrizität bis Ende 2022 und der bis dahin sukzessiven Beendigung des Leistungsbetriebs von weiteren neun KKW eine Vielzahl von neuen Stilllegungsprojekten begonnen, welche aufgrund der installierten Nettoleistung und der standardisierten Bauweise der jeweiligen KKW auch international auf großes Interesse stoßen. Seit mehreren Jahren bereits ist ein vermehrtes Interesse an Erfahrungen aus Deutschland aus dem europäischen und außereuropäischen Ausland zu verzeichnen.

Gleichzeitig hat die Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung von Reaktoren Einfluss auf die nationale Durchführung von Stilllegungsprojekten.

Um die Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung kerntechnischer Anlagen zu verfolgen und mitzugestalten ist eine aktive Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in der Stilllegung notwendig. Im Rahmen des Projektes wurde daher an der Weiterentwicklung des internationalen Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung mitgearbeitet sowie ein Beitrag zum

internationalen Erfahrungsaustausch und zum Erfahrungsrückfluss auf die nationale Ebene geleistet. Im Einzelnen wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Sammlung und Bewertung von auf internationaler Ebene veröffentlichten Erfahrungen und Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Stilllegung
- Erstellung von fachlichen Beiträgen als Grundlage und in Vorbereitung auf eine aktive und gestaltende Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung
  - der IAEA durch die aktive Mitarbeit am IDN, am Project „Completion of Decommissioning“, am Decommissioning-WIKI des IDN als WIKI-Moderator und die regelmäßige aktive Teilnahme an Workshops und Technical Meetings zum Wissensmanagement. In den vier genannten Projekten bzw. Netzwerken ist die GRS bereits im Rahmen des Vorgängervorhabens beteiligt gewesen.
  - der OECD/NEA (NEA Workshop „Regulatory Framework of Decommissioning, Legacy Sites and Wastes from Decommissioning“, Arbeits- und Expertengruppen WPTES (Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of Decommissioning and Legacy Management), HDCS (Expert Group on a Holistic Process for Decision Making on Decommissioning and Management of Complex Site), EGKM (Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste Management Programmes and Decommissioning) und EGRRS (Expert Group on the Application of Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-end)).
  - Hospitationen bei ausgewählten ausländischen Projekten, welche sich in Vorbereitung auf oder in der Phase der Stilllegung befinden und Erfahrungsaustausch mit ausgewählten ausländischen Sachverständigenorganisationen oder Behörden, welche an Stilllegungsprojekten von Reaktoren beteiligt sind. Hierzu wurde ein Erfahrungsaustausch zwischen dem ENSI und der GRS zum Abbau der KKW Mühleberg durchgeführt.
- Die Dokumentation und Aufbereitung der Ergebnisse in diesem Abschlussbericht für einen Erfahrungsrückfluss national. Neben diesem wurden hierfür Präsentationen für den Arbeitskreis Stilllegung des Bund-Länder-Ausschusses für Atomkernenergie erstellt und vorgetragen.

## **2 Kurzdarstellung des relevanten Standes von Wissenschaft und Technik**

Seit Beginn der friedlichen Nutzung der Kernenergie haben viele kerntechnische Anlagen das Ende ihrer technischen oder genehmigten Betriebszeit erreicht. Bis zum Ende des Jahres 2021 wurden weltweit 199 Leistungs- und Prototypreaktoren sowie 583 Forschungsreaktoren endgültig außer Betrieb genommen und befinden sich in verschiedenen Phasen der Stilllegung /IAE 22/. Sie müssen unter Berücksichtigung der Gewährleistung der Sicherheit und des Strahlenschutzes des Personals und der Bevölkerung stillgelegt werden.

In Deutschland wurden bisher 33 Leistungs- und Prototypreaktoren und 39 Forschungsreaktoren abgeschaltet bzw. befinden sich in verschiedenen Stadien der Stilllegung oder sind bereits vollständig abgebaut und aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes (AtG) entlassen /BAS 22/. In den nächsten Jahren werden Genehmigungsverfahren zu neuen Stilllegungs- und Abbauprojekten für Leistungsreaktoren (KKE, KKI-2, GKN-II) weitergeführt sowie weitere Genehmigungsverfahren zu laufenden Stilllegungs- und Abbauprojekten wahrscheinlich.

Im Ergebnis der bisherigen Stilllegungsprojekte weltweit liegen langjährige und gute Erfahrungen vor, die bewertet, weiter verfeinert und auf die Spezifika der einzelnen Stilllegungsprojekte angepasst werden müssen. Dabei gilt die besondere Aufmerksamkeit insbesondere sicherheitstechnischen Fragestellungen und dem Einsatz geeigneter Techniken, aber auch Aspekten des Strahlenschutzes des Personals, der Bevölkerung und der Umwelt sowie der Verringerung der Abfallaufkommen. Dies spiegelt sich beispielsweise in der „KONTEC“-Konferenzserie, zuletzt /KON 19/, /KON 21/, und ICOND-Konferenzen, vgl. /ICO 21/ aber auch in aktuellen Dokumenten der GRS, z. B. /GRS 22/, /GRS 22a/ wider.

Die bisherigen internationalen und nationalen Erfahrungen belegen, dass nahezu alle bekannten Anlagentypen in überschaubaren Zeiträumen zuverlässig und sicher abgebaut und die abgebauten Anlagenteile wiederverwendet bzw. konventionell oder als radioaktive Abfälle entsorgt werden können. Die Optimierung des Abbaus und der sicheren Entsorgung von Stilllegungsabfällen aller Reaktortypen ist weiterhin Gegenstand internationaler Forschung und Diskussionen. Der radiologische Schutz von Personal, Bevölkerung und Umwelt kann nach dem Stand von Wissenschaft und Technik gewährleistet werden. Es wird jedoch erwartet, dass durch die Auswertung der aktuellen Praxis und

insbesondere durch entsprechenden Erfahrungsaustausch und Erfahrungsrückflüsse eine weitere Optimierung in diesem Bereich möglich ist.

Ein wesentlicher Beitrag zur Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik in der Stilllegung und zum Erfahrungsaustausch auf diesem Gebiet wird hierbei bereits im Rahmen verschiedener internationaler Initiativen geleistet. Hier sind u. a. die Arbeiten in Projekten der IAEA zu nennen, z. B.

- COMDEC (International Project on Completion of Decommissioning),
- das IAEA Nuclear WIKI (zuvor IDN Decommissioning WIKI),
- die Veranstaltungsreihe zum Wissensmanagement der IAEA und
- Global Status of Decommissioning (GSD).

### **3 Sammlung und Bewertung internationaler Erfahrungen und Aufbereitung der Ergebnisse für einen Erfahrungsrückfluss national**

#### **3.1 Ergebnisse der Internetrecherche zu internationalen Erkenntnissen und Erfahrungen auf dem Gebiet der Stilllegung**

##### **3.1.1 Überblick**

Deutschland steht in den nächsten Jahrzehnten vor erheblichen Stilllegungsaufgaben, die in ihrer Komplexität und in ihrer zeitlichen Parallelität derzeit weltweit ohne Beispiel sind. Auch im internationalen Umfeld gewinnen die Themen Stilllegung kerntechnischer Anlagen und Entsorgung der dabei anfallenden radioaktiven Abfälle zunehmend an Bedeutung.

Dies wird auch mit Blick auf die Programmatik der zentralen internationalen Organisationen deutlich, die im nuklearen Umfeld tätig sind. So stellt der sichere Abbau kerntechnischer Anlagen einen wichtigen Bestandteil der Arbeitsprogramme sowohl der IAEA als auch der OECD/NEA dar. Im europäischen Raum hat die Europäische Kommission stilllegungsspezifische Programme zum Informationsaustausch aufgelegt und in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von einschlägigen Forschungsvorhaben gefördert.

Neben Deutschland stehen auch andere Länder vor großen Aufgaben bei der Stilllegung von KKW. Etliche KKW erreichen in der nächsten Zeit ihr vorgesehenes Laufzeitende oder werden aus anderen Gründen abgeschaltet, stillgelegt und abgebaut. Die dabei gewonnenen Erfahrungen können dazu genutzt werden, zukünftige Stilllegungsvorhaben effizienter zu gestalten und Lösungsstrategien zur Effizienzsteigerung zu entwickeln. Dies erfordert einen gezielten Erfahrungsrückfluss, der einerseits internationale Erkenntnisse und Fortschritte berücksichtigt und andererseits die spezifischen nationalen Erfahrungen und Anforderungen in die Bewertung mit einbezieht. Auf nationaler Ebene leistet die detaillierte und fortlaufende Darstellung des Standes einzelner Stilllegungsprojekte hierzu einen wichtigen Beitrag und ermöglicht es, Trends und Fortentwicklungen zu erkennen und diese bei der Planung zukünftiger stilllegungsbezogener Vorhaben zu berücksichtigen.

Stilllegung und Abbau jedes einzelnen KKW sind ein technisch und organisatorisch anspruchsvolles Großprojekt. Hierfür sind spezialisiertes Fachwissen sowie ein Zeitraum von vielen Jahren erforderlich. In der Praxis wird für den Abbau zwar auch auf das ehemalige Betriebspersonal der Anlage zurückgegriffen, zusätzlich müssen jedoch viele Aufgaben, die spezifische Fachkompetenzen erfordern, durch spezialisierte Fachunternehmen durchgeführt werden. In Deutschland und in anderen Ländern sind bereits einige dieser Fachunternehmen tätig. Sie bieten hoch spezialisierte Technologien, Dienstleistungen und Fachkräfte, die für die anstehenden Aufgaben dringend benötigt werden. Hierzu gehört eine Reihe von kleinen und mittleren Unternehmen, die bisher vor allem Dienstleistungen für den Kraftwerksbetrieb erbracht haben, über einschlägige Kompetenzen im Nuklearbereich verfügen und gleichzeitig eine neue unternehmerische Orientierung suchen. Vor dem Hintergrund ist auch die Frage interessant, inwieweit technisches Knowhow aus dem Ausland in Deutschland beim Abbau genutzt werden kann bzw. die deutsche Expertise exportiert wird oder werden kann.

Auf nationaler und internationaler Ebene existieren verschiedene Organisationen, Arbeitsgruppen, Gremien und Veranstaltungen, in denen die Erfahrungen aus der Stilllegung gebündelt werden und beispielsweise in Form von Berichten, Fachbeiträgen auf Tagungen und Konferenzen oder durch Empfehlungen und Anforderungen dargestellt werden.

Technisch besonders herausfordernd sind die graphitmoderierten Reaktoren, vor allem in Großbritannien. In Deutschland gilt dies für die Prototypreaktoren THTR300 und den AVR. Großbritannien hingegen hat insgesamt 43 solcher Anlagen.

International wird davon ausgegangen, dass etwa zehn Reaktoren pro Jahr in den kommenden zehn Jahren dauerhaft abgeschaltet werden. Insgesamt betrifft dies weltweit etwa 115 Anlagen, davon 61 in Europa /KRU 19/. Die Gründe hierfür sind das zunehmende Alter der Anlagen, politische Entscheidungen Anlagen auch vorzeitig abzuschalten und ökonomische Gründe.

In Deutschland ist das angestrebte Szenario für alle anstehenden Stilllegungen der direkte Abbau bis zur Entlassung aus der atom- und strahlenschutzrechtlichen Überwachung. Dieses Konzept wurde im 15. Gesetz zur Änderung des Atomgesetzes (15. AtGÄndG) verankert. Nach diesem ist der „Sichere Einschluss“ für Kraftwerke, deren Betreiber in den Entsorgungsfonds eingezahlt haben, keine Option mehr. Die beim Ab-

bau anfallenden Großkomponenten sollen zerlegt und anschließend im Volumen reduziert werden. Die gleichen Anforderungen hinsichtlich der Stilllegungsstrategie, dem angestrebten Endzustand und der Demontage von Großkomponenten stellt die Schweiz. Ein ähnliches Vorgehen ist auch in Frankreich und Finnland zu finden. In beiden Fällen ist jedoch als Endzustand auch das „Brown Field“ möglich. Dieser Zustand ist in Frankreich dadurch definiert, dass Teile der Gebäude der Anlage am Standort verbleiben, aber im radiologischen Sinne saniert sind, so dass keine behördliche Kontrolle über ihre Weiterverwendung für andere Zwecke mehr erforderlich ist. Nach finnischem Reglement sollen Großkomponenten außerdem im Ganzen ausgebaut und eingelagert werden. In Großbritannien sind der „Sichere Einschluss“ und der „Verzögerte Abbau“ weiterhin gültige Strategien für den kerntechnischen Abbau /KRU 19/. Der „Verzögerte Abbau“ (deferred dismantling) stellt hierbei einen Mittelweg zwischen dem direkten Abbau und dem sicheren Einschluss dar. Hierbei werden die meisten radioaktiven Abfälle der Anlage entsorgt und einige der Anlagenteile, je nach ihrer Aktivität, bereits abgebaut. Ein Großteil der Anlage wird jedoch einige Zeit in einen Zustand ähnlich dem sicheren Einschluss gebracht, um von der Abnahme der Radioaktivität aufgrund des natürlichen Zerfalls zu profitieren.

Die im Folgenden beschriebenen Erkenntnisse aus der Internetrecherche sind teilweise mit Informationen aus Veranstaltungen angereichert, an denen im Rahmen des Vorhabens teilgenommen wurde, um Doppelungen zu vermeiden. Die im Folgenden behandelten Anlagen stellen keinesfalls eine abschließende Liste aller Anlagen in Stilllegung mit entsprechenden Tätigkeiten dar. Die Auswahl erfolgte auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen.

### **3.1.2 Leistungsreaktoren**

#### **3.1.2.1 Ignalina NPP, Litauen**

Einige Kilometer nördlich der Stadt Ignalina, in Litauen, liegt das gleichnamige Kraftwerk Ignalina NPP. In Betrieb genommen wurde die Doppelblockanlage, bestehend aus zwei wassergekühlten, graphitmoderierten RBMK-1500 Reaktoren, in den Jahren 1983 (Block 1) und 1987 (Block 2). Zu dieser Zeit sollte der Reaktor den gesamten Nordwesten der damaligen UdSSR mit Energie versorgen. Nach der Unabhängigkeit Litauens ist diese Anlage daher völlig überdimensioniert, da ein Block allein bereits 80 % des Stromverbrauchs des gesamten Landes deckt. Die Stilllegung im Jahr 2004 (Block 1) und 2009 (Block 2) war eine Bedingung für einen Beitritt Litauens zur Europäischen Union (EU).

Damit sind die Blöcke dieser Anlage gemeinsam mit den Tschernobylreaktoren die ersten in Stilllegung befindlichen Reaktoren vom Typ RBMK. Der Zeitplan sieht einen direkten Abbau der Anlage bis zum Jahr 2038 vor. Dies soll vor allem mit der Unterstützung des eigenen Personals geschehen. Die nötige Infrastruktur für den Abbau, die Konditionierung und Lagerung der Reststoffe und Brennelemente soll auf dem Gelände der Anlage entstehen. Hierzu wurde bereits im Jahr 2017 ein Zwischenlager für Brennelemente in Betrieb genommen und im Jahr 2018 mit der Entladung von Block 2 begonnen. Des Weiteren wurde eine Behandlungs-, Konditionierungs- und Verpackungsanlage errichtet. Diese befand sich im Jahr 2019 bereits in der heißen Testphase. Im Hinblick auf die Endlagerung werden ein Lager für sehr kurzlebige Abfälle mit einem Volumen von 60.000 m<sup>3</sup>, sowie ein Lager für leicht- und mittelaktive Abfälle, mit einem Volumen von 100.000 m<sup>3</sup> errichtet. Letzteres soll nach dem sicheren Verschluss weitere 300 Jahre überwacht werden /IGN 20/.

Das gesamte Projekt wird im Rahmen des Programms der Europäischen Kommission, „Nuclear Decommissioning Assistance Programme“ unterstützt und teilfinanziert. Das Projekt ist befristet bis zum Jahr 2038 was dem Ende der geplanten Stilllegungs- und Abbautätigkeiten entspricht /BRU 19/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Alle nötigen Einrichtungen wie Zwischenlager, Konditionierungseinrichtungen und Abfallbehandlungszentren werden direkt vor Ort entstehen. Der Abbau soll vorrangig mit eigenem Betriebspersonal erfolgen. Dieses Vorgehen ist maßgeblich dadurch bedingt, dass der Standort Ignalina der einzige Standort mit Leistungsreaktoren in Litauen ist. Aus diesem Grund ist das Vorgehen für die Stilllegung und Demontage der Anlage nur bedingt übertragbar. Die einzelnen Einrichtungen lassen sich jedoch sehr wohl mit deutschen Einrichtungen vergleichen, was auf die große Unterstützung durch die Europäische Kommission zurückzuführen ist.

#### **3.1.2.2 Bohunice-1, Slowakei**

Der Bau der Anlage Bohunice V1 begann im Jahr 1972 mit zwei Reaktoren des Typs WWER-440 V-230, die von Atomenergoexport aus Russland und Skoda geliefert wurden. Sie wurden in den Jahren 1978 und 1980 an das Netz angeschlossen. In 1976 begann der Bau von zwei von Skoda gebauten V-213-Reaktoren (das KKW V2), die

1984 und 1985 in Betrieb genommen wurden. Alle wurden von Atomenergoprojekt entworfen. Als Bedingung für den Beitritt der Slowakei in die EU wurden die V1-Blöcke in den Jahren 2006 und 2008 abgeschaltet /IDN 20/, /IDN 20a/.

Die Stilllegung des KKW in Jaslovské Bohunice, zwei WWER-Reaktorblöcke, ist in zwei Stufen vom 20. Juli 2011 bis zum 31. Dezember 2025 geplant. Ziel der Stilllegung des KKW V1 ist die Entlassung des KKW aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes durch die Demontage von Anlagen, den Abriss von Gebäuden, die Entsorgung von Abfällen aus der Stilllegung des KKW V1, einschließlich der Verarbeitung und sicheren Entsorgung radioaktiver Abfälle (RAW) im Nationalen Endlager für radioaktive Abfälle in Mochovce, oder deren sichere Lagerung im Zwischenlager für radioaktive Abfälle am Standort Jaslovské Bohunice. Der Standort des KKW V1 soll nach Abschluss der Stilllegung für die industrielle Nutzung freigegeben werden /JAV 20/.

Am 2. Juni 2020 gab die slowakische Nuklear- und Stilllegungsgesellschaft Jadrová a vyraovacia spoločnosť (JAVYS) bekannt, dass sie „eine der komplexesten Arbeiten des Stilllegungsprojekts Jaslovské Bohunice V1“ abgeschlossen habe. Der Reaktordruckbehälter, der mit Aufhängesystemen 204 t wog, wurde vom Reaktorschacht des Blocks 1 in das Nasszerlegebecken transportiert.

In den Jahren 2018 und 2019 wurden hierzu die entsprechenden Vorbereitungen durchgeführt und die Projektdokumentation erstellt. Hierzu zählten der Bau von Arbeitsplätzen für die Zerlegung von aktivierten Ausrüstungsteilen, Zerlegebecken für den Reaktordruckbehälter und dessen Einbauten sowie die Genehmigung der Dokumentation /NEI 20/.

Aus dem Jahresbericht der JAVYS von 2019 gehen alle maßgeblichen Stilllegungstätigkeiten hervor. Diese umfassen die Sperrung und Trennung von Systemen, die Demontage von nicht mehr benötigten Geräten und Systemen, die Dekontamination von Einbauten des Reaktorkühlmittelsystems sowie deren teilweise Demontage.

Das Projekt D4.2 „Demontage großer Komponenten des Reaktorkühlsystems“ wurde fortgesetzt, dessen Hauptziel die Demontage der am stärksten kontaminierten Anlagenteile (Reaktordruckbehälter an beiden Reaktorblöcken, Dampferzeuger, Reaktorkühlmittelpumpen, Rohrleitungen des Primärkreislaufs und andere technologische Komponenten) und Auskleidungen innerhalb des Geländes des Kontrollbereichs des Hauptgebäudes des KKW V1 ist. Die durchgeführten Arbeiten betrafen die Demontage und den

Transport aller zwölf Dampferzeuger auf das Gelände der ehemaligen Maschinenhalle des KKW V1, Zerlegungs- und Dekontaminationsarbeiten, Demontage und Zerlegung der Hauptkühlmittelkreislaufleitungen.

Des Weiteren wurde die Zerlegung des Druckerzeugers des Reaktorblocks 1 abgeschlossen, die Errichtung eines Arbeitsplatzes für die trockene Zerlegung des Dampferzeugers in der ehemaligen Maschinenhalle des KKW V1 umgesetzt und weitere Nassschneidearbeitsplätze für den Reaktorbehälter, innere Reaktorteile und andere aktivierte Komponenten eingerichtet.

Gleichzeitig mit diesem Projekt wurden auch das Teilprojekt D4.4.B „Demontage von Systemen im KKW-Kontrollbereich V1 - Teil 1“ sowie andere damit zusammenhängende Teilprojekte durchgeführt und mit der Durchführung des Teilprojekts D4.4C.01 „Demontage von Systemen im KKW-Kontrollbereich V1“ begonnen. Parallel zu den Demontagen liefen kontinuierlich Prozesse zur Entsorgung der anfallenden radioaktiven Abfälle.

Außerdem wurde das Projekt D4.1 „Änderung der Anlage und Installation neuer Ausrüstung“ fortgesetzt, das auf Änderungen des Reaktorgebäudes und des aktiven Hilfsgebäudes für die Stilllegung und Beseitigung der Abhängigkeit des Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente von dem stillzulegenden KKW V1 durch den Bau von Ersatzanlagen abzielt.

Das Projekt C9.4 „Design and Erection of New Disposal Facilities for LLW and VLLW from V1 NPP Decommissioning at NRWR Mochovce“, das die Planung, die Durchführung des Genehmigungsverfahrens, den Bau und die Inbetriebnahme neuer Entsorgungsanlagen für schwach- und sehr schwachradioaktive Abfälle aus der Stilllegung des KKW V1 im NRWR Mochovce zum Gegenstand hat, wurde termingerecht abgeschlossen /JAV 20/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Das allgemeine Vorgehen hinsichtlich der Stilllegung und Demontage des KKW Bohunice in der Slowakei ist vergleichbar mit dem in Deutschland. Aufgrund der geringen Anzahl kerntechnischer Anlagen in der Slowakei hat es sich hier jedoch etabliert eine Zentralorganisation für die Umsetzung der gesamten Planung und Durchführung bis hin zur Entsorgung zu schaffen, die Nuklear- und Stilllegungsgesellschaft JAVYS. Diese ist vollständig in staatlicher Hand.

Besonders das laufende Projekt D4.1 zur Beseitigung von Abhängigkeiten des Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente von dem stillzulegenden Kraftwerk ist ein Thema, welches auch in deutschen Anlagen bzw. für die BGZ immer wieder von großer Bedeutung ist.

### **3.1.2.3 Chinshan, Kuosheng, Maanshan, Taiwan**

Taiwan hat im Jahr 2015 beschlossen, bis zum Jahr 2025 komplett auf Kernenergie zu verzichten. Derzeit befinden sich noch, auf die drei Standorte Chinshan, Kuosheng und Maanshan verteilt, insgesamt sechs Reaktorblöcke im Betrieb. Eine weitere Doppelblockanlage an einem vierten Standort, Lungmen, wurde nie fertig gestellt. Die Anlagen waren zwischen 1978 und 1985 in Betrieb genommen worden und sollten jeweils nach genau 40 Jahren stillgelegt werden. Zuständig hierfür ist im Wesentlichen der Betreiber, die Taiwan Power Company.

Der eigentliche Abbau der beiden Blöcke am Standort Chinshan begann im Jahr 2018 und soll insgesamt 25 Jahre dauern. Hierzu wurden zwei neue Nasslager für Brennelemente und zwei Lagergebäude für radioaktiven Abfall auf dem Anlagengelände errichtet.

Große Schwierigkeiten ergaben sich jedoch in den letzten Jahren vor allem im Hinblick auf die Endlagerung von radioaktivem Abfall. Derzeit lagern alle abgebrannten Brennelemente der sechs Reaktorblöcke in den jeweiligen BE-Lagerbecken. Ein Trockenlager ist derzeit nicht genehmigt. Da die entsprechenden Lagerkapazitäten jedoch bereits im Jahr 2017 zum Großteil ausgeschöpft waren, wurde die Energieproduktion bereits 2016 reduziert /TAI 16/.

Derzeit herrscht große Uneinigkeit zwischen dem Betreiber und der Regierung über die Lagerung des radioaktiven Abfalls und der Brennelemente. Auch die Frage nach den anfallenden Kosten für die Stilllegung, Konditionierung und vor allem die Endlagerung ist noch vollkommen ungeklärt /CHI 19/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Am Beispiel von Taiwan wird deutlich, wie wichtig eine geregelte und geordnete Zwischenlagerung an den jeweiligen Standorten ist, welche auch für kommende Jahre genügend Pufferflächen bietet.

#### **3.1.2.4 Barsebäck, Oskarshamn und Ringhals, Schweden**

Bis Ende 2020 wurde die Hälfte der schwedischen Kernreaktoren endgültig abgeschaltet. Es wird erwartet, dass die sechs großen Reaktoren in Schweden in den nächsten zehn Jahren stillgelegt werden. Hierzu zählen die Standorte Barsebäck, Oskarshamn und Ringhals. Neben diesen steht der Prototyp des Ägesta-Reaktors, ein Heizkraftwerk, kurz vor dem Beginn des Abbaus.

Die Doppelblockanlage in Barsebäck stellte 1999 bzw. 2005 die Stromerzeugung ein. Nach der Abschaltung wurden alle abgebrannten Brennelemente entfernt und in Schwedens zentrales Zwischenlager (Clab) in Oskarshamn verbracht. Eine umfassende Dekontamination der Systeme wurde ebenfalls frühzeitig durchgeführt. Die Demontage musste jedoch aufgrund fehlender Einrichtungen für die Lagerung oder Entsorgung von Stilllegungsabfällen warten. Aus diesem Grund wurde Barsebäck zu einem Schulungszentrum für das Personal anderer Standorte umgebaut. Konventionelle Flächen der Anlage wurden an örtliche Unternehmen als Büro- oder Lagerräume vermietet. Hinzu kommt ein öffentliches Informationszentrum am Standort.

Bis 2016 wurde in Barsebäck ein neues Standortlager für schwach- und mittelaktive Abfälle gebaut. Dies ermöglichte zusätzliche Vorbereitungen für Abbau- und Demontagerbeiten. Die Segmentierung der Einbauten des Reaktordruckbehälters wurde im Jahr 2019 abgeschlossen, und die Becken über und neben den Reaktoren wurden entleert.

Der Abbau in Kontrollbereichen begann im Jahr 2020 und soll im Jahr 2028 abgeschlossen sein. Der geplante Endzustand für das Gelände ist das „Brown Field“, welches im Anschluss wieder für eine neue Anlage zur Stromerzeugung genutzt werden soll.

Der zweite Standort, Oskarshamn, umfasst drei Siedewasserreaktor(SWR)-Reaktorblöcke, von denen zwei aus wirtschaftlichen Gründen außer Betrieb genommen wurden. Block 1 des KKW Oskarshamn wurde im Jahr 2017 endgültig abgeschaltet. Oskarshamn 3 ist seit 1985 in Betrieb und soll bis 2045 in Betrieb bleiben. Wie in Barsebäck wurden auch Oskarshamn 1 und 2 von abgebrannten Brennelementen entleert, die in die benachbarte Anlage Clab verbracht wurden. Die Segmentierung der internen Komponenten in beiden Reaktordruckbehältern ist abgeschlossen. Die Vorbereitungen zur Erweiterung der Kapazität für die Lagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen am Standort haben begonnen. Diese Lagerflächen sollen in der Lage sein, die bei der Stilllegung von KKW in Schweden anfallenden Abfälle aufzunehmen.

Der Abbau der beiden Blöcke von Oskarshamn begann ebenfalls im Jahr 2020. Nach der Entfernung des radiologisch relevanten Inventars sollen die Gebäude, als stehende Strukturen, im Jahr 2028 aus der behördlichen Kontrolle entlassen werden.

Um logistische und wirtschaftliche Vorteile zu schaffen, werden die radiologische Demontage- und Abbruchphase von Barsebäck und Oskarshamn 1 und 2 als ein gemeinsames Projekt durchgeführt.

Am dritten Standort Ringhals steht Schwedens ältester Druckwasserreaktor (DWR) Ringhals 2, welcher am 30. Dezember 2019 seinen Leistungsbetrieb eingestellt hat. Der benachbarte SWR, Ringhals 1, ging Ende 2020 ebenfalls in den dauerhaften Nicht-Leistungsbetrieb über. In beiden Fällen erfolgte die Abschaltung aus wirtschaftlichen Gründen. Der Standort beherbergt zwei weitere DWR, die voraussichtlich noch einige Jahre in Betrieb bleiben werden.

Die Vorbereitungen für die Abschaltung der ersten beiden Blöcke begann im Jahr 2015. Dazu gehörte ebenfalls die Ermittlung und Umsetzung von Maßnahmen, die für den Weiterbetrieb von Ringhals 3 und 4 nach 2020 erforderlich sind. Der Betrieb der Blöcke Ringhals 3 und 4 stützt sich auf etwa 80 Systeme in den Blöcken Ringhals 1 und 2. Dies sind Systeme, die beim Bau der ältesten Einheiten entstanden sind und später auf die Einheiten 3 und 4 erweitert wurden, wie Strom- und Löschwasserversorgung sowie Kommunikationssysteme.

Ringhals bleibt zwar der Genehmigungsinhaber, doch die Verantwortung für die Durchführung der Stilllegung liegt bei Vattenfall, dem Hauptaktionär. Bei Vattenfall, das auch für Ågesta verantwortlich ist, liefen vorab detaillierte Studien und Vorbereitungen für die Stilllegung von Ringhals 1 und 2. Dazu gehörten die Abschätzung der Mengen der verschiedenen Abfallströme, und die Bewertung der Optionen für deren Lagerung. Wie an den anderen Standorten werden die bestrahlten Brennelemente innerhalb weniger Jahre nach der Stilllegung entfernt und ins Clab transportiert. Vattenfall hat, als Teil der detaillierten Stilllegungsplanung, mit einer Studie über die künftige Nutzung des Standorts begonnen.

Nach dem schwedischen Gesetz über nukleare Aktivitäten erfolgt die Stilllegung von KKW in Schweden im Rahmen der Betriebsgenehmigung. Für den Beginn der Demontage sind jedoch drei Genehmigungen erforderlich: Eine neue Genehmigung nach dem Umweltgesetz und zwei Genehmigungen der schwedischen Strahlenschutzbehörde

(SSM) – zu den zugehörigen Unterlagen zählen ein Sicherheitsbericht und ein Bericht zum radiologischen Überwachungsprogramm. Während der Demontage und des Abbruchs muss der Genehmigungsinhaber die SSM vor Beginn jedes vordefinierten Arbeitspakets benachrichtigen. Geplant sind etwa zehn Arbeitspakete pro Block.

Bereits im Jahr 2016 begann die SSM damit, die Anzahl der Mitarbeiter, die während des Abbaus und des Abbruchs benötigt werden, zu ermitteln, neue Stellen zu schaffen und weitere Mitarbeiter auszubilden. Seit 2016 organisiert die SSM halbjährlich Stilllegungsseminare für Teilnehmer aus der schwedischen Nuklearindustrie /NSE 20/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Die allgemeine Situation der Stilllegungstätigkeiten Schwedens ist vergleichbar mit der in Deutschland. Auch in Schweden werden derzeit eine Vielzahl an kommerziell betriebenen Anlagen stillgelegt und zurückgebaut. Unterschiede zu Deutschland gibt es jedoch in der Zuständigkeit der Aufsichtsbehörden. Während in Deutschland die jeweilige Aufsichtsbehörde der Bundesländer die Genehmigung und Umsetzung überwachen, übernimmt diese Aufgabe in Schweden eine zentrale Aufsichtsbehörde. Diese hatte zudem in den vergangenen vier Jahren genug Vorlaufzeit, um Kapazitäten auszubauen und die nötigen Vorbereitungen zu treffen. Das Genehmigungsverfahren unterscheidet sich deutlich von dem in Deutschland. In Schweden erfolgt die Stilllegung von KKW im Rahmen der Betriebsgenehmigung. Zusätzlich zu dieser müssen noch drei weitere Genehmigungen erteilt werden, eine nach dem Umweltgesetz und zwei von der Strahlenschutzbehörde. Ein weiterer Unterschied ist das bereits vorhandene zentrale Zwischenlager für Brennelemente Clab. In diesem werden die Brennelemente aller Reaktoren gesammelt und gelagert bis ein Endlager zur Verfügung steht.

#### **3.1.2.5 Crystal River-3, USA**

Das KKW Crystal River-3 befindet sich auf dem Gelände des Crystal River Energy Complex in Florida, USA. Auf dem Gelände befinden sich insgesamt fünf Kraftwerke, von denen jedoch nur Crystal River-3 ein KKW ist. Bei den restlichen Anlagen handelt es sich um Kohlekraftwerke /FDE 20/.

Der 860-MWe-DWR Crystal River-3 wurde im September 2009 für eine 20-prozentige Leistungserhöhung abgeschaltet, die jedoch nach Komplikationen im Zusammenhang mit dem Containment des Reaktorgebäudes nie abgeschlossen wurde. Die Anlage

wurde daraufhin im Februar 2013 endgültig abgeschaltet erklärt. Zu diesem Zeitpunkt erklärte der Betreiber, Duke Energy, dass die Stilllegung der Anlage voraussichtlich bis 2074 dauern würde /WNN 19/.

Die Anlage befand sich bis 2019 im „sicheren Einschluss“. Ein Bericht über die Stilllegungsaktivitäten nach der Abschaltung der Anlage Crystal River-3 (CR3), einschließlich der standortspezifischen Kostenschätzung, wurde am 2. Dezember 2013 vom Betreiber eingereicht. Im Jahr 2016 wurde mit dem Bau einer unabhängigen Lagereinrichtung für bestrahlte Brennstoffe (Independent spent fuel storage installation, ISFSI) begonnen. Nach ihrer Fertigstellung im Sommer 2017 erfolgte die vollständige Brennstoffübergabe an das ISFSI bis zum Januar 2018 /NRC 19/.

Anfang 2019 beantragte der Betreiber Duke Energy die Übertragung der Genehmigung auf die Accelerated Decommissioning Partners LLC (ADP) – einem Joint Venture zwischen NorthStar Group Services und Orano USA. Gemäß der Vereinbarung mit ADP CR3 bleibt Duke Energy weiterhin Eigentümer des Kraftwerks, der Anlagen und der Ausrüstung und behält die Eigentumsrechte und die Kontrolle über den Treuhandfonds, der für die Stilllegung aufkommt. ADP CR3 wird der Genehmigungsinhaber, der für die Stilllegung des Kraftwerks in Übereinstimmung mit allen staatlichen und bundesstaatlichen Vorschriften verantwortlich ist. NorthStar wird außerdem mit dem Abriss von zwei dauerhaft stillgelegten Kohlekraftwerken am Standort Crystal River Energy Complex beauftragt.

Die neuen Pläne sehen eine beschleunigte Stilllegung der Anlage vor. Gemäß diesen werden die Stilllegungsarbeiten zwischen 2020 und 2027 durchgeführt /WNN 19/, /WNN 20/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Der vorliegende Fall des KKW Crystal River-3 zeigt, dass auch in den USA die Stilllegungsstrategie des „sicheren Einschlusses“ zugunsten des direkten Abbaus aufgegeben wird. Die Neustrukturierung der Stilllegung des KKW Crystal River-3 wird die Dauer bis zu dem Erreichen des Endzustandes voraussichtlich um 47 Jahre verkürzen. In Deutschland ist der „sichere Einschluss“ als Stilllegungsstrategie nur in Ausnahmefällen für einzelne Anlagenteile gestattet. Derzeit befindet sich nur eine deutsche Anlage in diesem Zustand, der Prototypreaktor THTR-300.

### **3.1.2.6 Duane Arnold, USA**

Das Kraftwerk Duane Arnold liegt im US-Bundesstaat Iowa, zwischen Waterloo und Davenport, in einem dünn besiedelten Bereich Mittelamerikas. Bei dem Reaktor handelt es sich um einen SWR des Typs Mark I mit einer Nettoleistung von 581 MW. Errichtet wurde die Anlage zwischen 1970 und 1974. Am 1. Februar 1975 nahm die Anlage dann den kommerziellen Leistungsbetrieb auf. Ursprünglich war die Betriebsdauer auf 40 Jahre festgeschrieben, wurde aber im Dezember 2020 durch die U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) um weitere 20 Jahre, bis 2034, verlängert. Im Jahr 2017 wurde dann jedoch bekannt, dass der Hauptabnehmer und Vertragspartner die laufenden Verträge zur Abnahme des Stroms nicht über das Jahr 2025 hinaus verlängern würde und die Anlage damit vorzeitig stillgelegt werden sollte. Am 27. Juni 2018 wurde diese Ankündigung schließlich bestätigt /NFS 18/.

Am 10. August 2020 wurde der Kühlturm des Kraftwerks durch einen Sturm beschädigt und die externe Stromversorgung unterbrochen, was zum automatischen Herunterfahren des Meilers führte. Am 25. August 2020 teilte der Betreiber NextEra Energy Resources mit, dass man nach Begutachtung der Schäden die Entscheidung getroffen habe, das Kraftwerk nicht wieder anzufahren, da eine Reparatur der Schäden bis zur bisher geplanten Abschaltung am 30. Oktober 2020 nicht möglich gewesen wäre /SPG 20/.

Die noch in der Anlage vorhandenen Brennelemente sollen langfristig in einem Trockenlager auf dem Gelände des Reaktors gelagert werden /NEE 21/. Nach derzeitigem Planungsstand wird die Stilllegung und der Abbau der Anlage etwa 60 Jahre in Anspruch nehmen /KWW 21/. Nach dem Entfernen der Brennelemente soll die Anlage zunächst in den „sicheren Einschluss“ gehen und dort für einige Jahrzehnte bleiben, um einen großen Teil der verbleibenden Aktivität auf natürlichem Wege abzubauen /SCI 20/.

Im März 2021 wurden erste Pläne vorgestellt wonach der Standort in einen 3.500 Hektar großen Solarpark umgebaut werden soll /KWW 21/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Eine erkennbare Gemeinsamkeit zwischen der Anlage Duane Arnold und einigen deutschen Anlagen ist die zunächst genehmigte Verlängerung der Laufzeit, gefolgt von dem Entscheid, die Anlage stillzulegen. In Deutschland betrifft dies vor allem Reaktorblöcke, welche durch das Moratorium vom 14. März 2011 angefahren wurden und kurze Zeit

später endgültig in den Nachbetrieb übergangen. Hierdurch entsteht ein großer Druck auf die zuständigen Stellen, Pläne für einen Nach- und Restbetrieb zu erstellen und eine Vorgehensweise für die Stilllegung der Anlage zu erarbeiten. In den USA ist es jedoch, im Gegensatz zu Deutschland, noch möglich einen Leistungsreaktor in den „sicheren Einschluss“ zu überführen und ihn dort für mehrere Jahrzehnte zu halten. Daher ist das weitere Vorgehen der Betreiber und Behörden kaum auf das in Deutschland zu übertragen.

### **3.1.2.7 Indian Point – 3, USA**

Das KKW Indian Point (Indian Point Energy Center (IPEC)) bestand aus drei DWR und liegt in Buchanan (New York, USA) am Hudson River etwa 55 km nördlich des Zentrums von New York City /WNN 21/.

Der Block 1 war von 1962 bis 1974 in Betrieb. Die Abschaltung erfolgte im Jahr 1974, da das Notkühlsystem nicht mehr genehmigungsfähig war. Im Jahr 1976 wurden die letzten Brennstäbe entfernt. Die Blöcke 2 und 3, beide von Westinghouse erbaut, waren ab 1974 bzw. 1976 im Leistungsbetrieb. Der Reaktorblock 2 wurde am 30. April 2020 und der Reaktorblock 3 am 30. April 2021 abgeschaltet /HOL 21a/. Die baugleichen DWR vom Typ W (4-loop) DRYAMB verfügten über eine Nettoleistung von je 1030 MW /IAE 22/.

Das KKW galt seit den Anschlägen vom 11. September 2001 als terrorismusgefährdet, da es an Flugrouten von Verkehrsflugzeugen lag. Infolgedessen wurden Analysen hinsichtlich der Sicherheit gegenüber Flugzeugabstürzen und Anschlägen durchgeführt. Einige dieser Szenarien ergaben, dass der sicherheitsgemäße Weiterbetrieb nicht gewährleistet sei. Hinzu kam, dass in einem Radius von 80 km um die Anlage etwa 6 % der US-Bevölkerung (fast 20 Mio. Menschen) leben, und die Anlage in einem seismisch relativ aktiven Gebiet liegt /WNN 16/.

Mit der Abschaltung des letzten Blocks der Anlage geht die Eigentümerschaft des gesamten Standorts an die Holtec International Gesellschaft über. Dieser Transfer wurde durch die Genehmigung der NRC Anfang des Jahres 2021 und die Zustimmung der New York Public Service Commission ermöglicht. Hierbei fungiert Holtec Indian Point, LLC als Eigentümer und Holtec Decommissioning International, LLC (HDI) als Genehmigungsinhaber und Stilllegungsbetreiber.

Eine erste Planung für die gesamte Stilllegung ist bereits beendet und soll unverzüglich in die Tat umgesetzt werden. Hierzu gehört vor allem die Entfernung aller Brennelemente aus der Anlage sowie die Demontage und Verpackung der hochaktivierten Teile aus den Kernreaktoren. Auf diese Weise sollen die BE-Becken der Anlage nach nur acht Monaten von ihren Kühlsystemen unabhängig werden.

Nach Abschluss der Stilllegung soll das 240 Hektar große Gelände für eine gewerbliche/industrielle Nutzung freigegeben werden; mit Ausnahme eines kleinen Bereichs, auf der die Trockenlagerbehälter unter Aufsicht von Holtec Security International (HSI) stehen werden. Holtec hofft, die Mehrzweckkanister (Multi Purpose Canister, MPC) mit den abgebrannten Brennelementen in das Zwischenlager HI-STORE CIS im Südosten New Mexicos transportieren zu können, das derzeit von der NRC auf seine Eignung geprüft wird.

Comprehensive Decommissioning International, LLC (CDI), eine Tochtergesellschaft von Holtec/SNC Lavalin, wird als Generalunternehmer für die Stilllegung, den Abriss und die Sanierung des Standorts zuständig sein.

Indian Point ist neben Pilgrim und Oyster Creek das dritte Stilllegungsprojekt von Holtec International Gesellschaft. Das Projektteam für die Stilllegung besteht aus einer Mischung aus HDI- und CDI-Mitarbeitern und etwa 300 derzeitigen Indian-Point-Mitarbeitern, die wertvolles anlagenspezifisches Wissen einbringen sollen /HOL 21/.

Im Jahr 2019 wurde der Verkauf der Anlage von Energy und Holtec und der Übertrag der entsprechenden Lizenzen auf Holtec bekanntgegeben und im November 2020 vollzogen. Nach Angaben von Holtec wird Indian Point von der integrierten Flottenmanagementstruktur des Unternehmens profitieren, die eine Reihe von Sicherheits-, Betriebs-, Qualitätssicherungs- und Managementverfahren und -praktiken vereinheitlicht. Holtec führt bereits beschleunigte Stilllegungen in Oyster Creek in New Jersey und Pilgrim in Massachusetts durch und plant, Palisades und Big Rock Point – beide in Michigan – im Rahmen einer für das Jahr 2022 geplanten Eigenkapitaltransaktion in seine Flotte aufzunehmen. Palisades, ein DWR mit 850 MWe (netto), wird voraussichtlich im Frühjahr 2022 endgültig abgeschaltet. Die Stilllegung des 67 MWe SWR von Big Rock Point wurde im Jahr 2006 abgeschlossen; ein unabhängiges Lager für gebrauchte Brennstoffe verbleibt am Standort.

## **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Die maßgeblichen Gründe für die Stilllegung der Anlage Indian Point, waren zum einen die Tatsache, dass sicherheitstechnisch relevante Teile nicht mehr in einen Genehmigungsfähigen Zustand gebracht werden konnten und zum anderen die Lage des Standorts selbst. Dieser war, nach heutigem Stand, aufgrund seiner tektonischen Aktivität und seiner Nähe zu einem großen Teil der US-amerikanischen Bevölkerung ungeeignet. So liegt das Zentrum von New York City gerade einmal 50 km südlich. Aufgrund der Größe befinden sich praktisch alle kerntechnischen Anlagen in Deutschland in besiedelten Gebieten, so dass die Argumentation so nicht übertragbar ist. Des Weiteren besteht Bestandsschutz für bereits genehmigte Anlagen in Deutschland; sicherheitstechnische Anpassungen finden fortwährend statt.

### **3.1.2.8 Fessenheim-1 und Fessenheim-2, Frankreich**

Der Standort Fessenheim befindet sich etwa zwei Kilometer südlich des Ortes Fessenheim im Oberelsass in Frankreich und damit nur etwa einen Kilometer von der deutschen Grenze entfernt. Die beiden 880-MWe-DWR der Doppelblockanlage Fessenheim waren seit 1977 (Fessenheim-1) bzw. 1978 (Fessenheim-2) in Betrieb und damit die ältesten und leistungsschwächsten noch laufenden französischen KKW /IAE 22/. Der Block 1 wurde am 22. Februar 2020 vom Stromnetz getrennt. Damit wurde der 42 Jahre dauernde Betrieb des Reaktors beendet. Der Block 2 wurde am 29. Juni 2020 ebenfalls vom Netz genommen und am 30. Juni 2020 endgültig abgeschaltet.

Verschiedenste Gründe führten letztendlich zur Stilllegung der Anlage. Gesetzlich ist in Frankreich eine Überprüfung der Kernreaktoren alle zehn Jahre vorgeschrieben. Bei der dritten Überprüfung nach 30 Jahren Laufzeit, wurden einige Mängel festgestellt. Unter anderem wurde beanstandet, dass das Fundament des Reaktors gerade einmal 1,5 m dick und damit deutlich zu dünn für die Auslegung gegen Erdbeben im Zusammenspiel mit einer Überschwemmung sei. Es folgten eine Reihe von Auflagen, welche auch die Verstärkung der Fundamente vorsahen.

Ein zweiter Grund ist die politische Entscheidung aus dem Jahr 2014, die Energieproduktion aus KKW in Frankreich auf eine Gesamtleistung von 63.2 GWe zu beschränken und mittelfristig den Anteil des Atomstroms von zuvor 75 % auf 50 % am Energiemix Frankreichs zu senken. Hierdurch ist die Abschaltung älterer Anlagen für die Inbetriebnahme neuer Anlagen erforderlich.

Nach der Abschaltung im Jahr 2020 soll zunächst eine Nachbetriebsphase von etwa fünf Jahren folgen. In dieser sollen vor allem alle Brennelemente aus beiden Blöcken der Anlage entfernt werden. Hinzu kommen weitere vorbereitende Tätigkeiten für den späteren Abbau.

Die französische Atomaufsichtsbehörde Autorité de sûreté nucléaire (ANS), erklärte, dass sie die vom Betreiber Électricité de France (EDF) in Vorbereitung auf den Abbau eingeräumte Priorität, den gesamten Brennstoff vor 2023 zu entfernen, für gerechtfertigt hält, da dadurch die Risiken des Standorts erheblich reduziert werden können. ASN teilte jedoch mit, dass der Detaillierungsgrad des Stilllegungsplans angesichts der kurzen Zeit bis zur endgültigen Abschaltung der Reaktoren unzureichend sei und forderte bereits im Dezember 2019 zusätzliche Informationen an hinsichtlich des Demontage-Szenarios und seiner Vorbereitungsarbeiten, der Ausrüstung, die für die Demontagearbeiten verwendet werden soll, sowie die Abfallentsorgung /NEI 20a/.

Der Betreiber EDF erklärte, dass basierend auf den Erfahrungen, welche bei der Stilllegung eines DWR in Chooz gesammelt werden konnten, eine Stilllegung innerhalb von 15 Jahren nach Erhalt der entsprechenden Genehmigung möglich ist. Dies würde bedeuten, dass bis zum Jahr 2040 die Stilllegung am Standort Fessenheim abgeschlossen ist /EDF 20/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Die vom Betreiber veranschlagte Zeit für den Abbau der Anlage von etwa 15 Jahren zuzüglich einer Nachbetriebsphase von etwa fünf Jahren entspricht den Zeithorizonten, welche auch für vergleichbare deutsche DWR veranschlagt werden bzw. in der Vergangenheit veranschlagt wurden. Aktuell wird in Deutschland eine Verkürzung bis hin zum Verzicht auf eine Nachbetriebsphase regelmäßig angestrebt. Hinsichtlich der Vorgehensweise bei der Stilllegung und Demontage kann derzeit noch keine Aussage getroffen werden, hier hat die zuständige Atomaufsichtsbehörde ANS Nachbesserungen in der Planung vom Betreiber EDF gefordert.

#### **3.1.2.9 Dungeness B, Vereinigtes Königreich**

Das Kraftwerk Dungeness befindet sich im Südosten des Vereinigten Königreichs in der Grafschaft Kent und besteht aus insgesamt vier Reaktorblöcken. Der Betreiber der An-

lage ist das französische Unternehmen EDF Energy. Dabei handelt es sich bei den beiden älteren Blöcken um Anlagen der Magnox-Baureihe. Diese wurden bereits im Jahr 2006 dauerhaft außer Betrieb genommen und befinden sich bereits in Stilllegung. Seit September 2018 waren die beiden verbliebenen Blöcke Dungeness-B1 (Inbetriebnahme 1983) und Dungeness-B2 (Inbetriebnahme 1985) vom Typ Advanced Gas-cooled Reactor (AGR) ebenfalls abgefahren und in einer längeren Revisionsphase. In dieser Zeit hatte der Betreiber versucht, einige technische Probleme in der Anlage zu lösen. Da diese Bemühungen nicht erfolgreich waren, wurde zu Beginn des Jahres 2021 damit begonnen die Brennstäbe der Anlage kontrolliert zu entladen.

Die derzeitigen Planungen sehen einen Stilllegungsbeginn der Anlage für das Jahr 2028 vor /REU 21/. Bis dahin sollen alle nötigen Planungen abgeschlossen und Genehmigungen erteilt worden sein. Ein erster Schritt hierzu ist die Entladung des Reaktors. Hiermit soll, nach Erteilung der Zustimmung der zuständigen Behörde, im Jahr 2022 oder spätestens im Jahr 2023 begonnen werden /ITV 21/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Da sich die Planung des Vorhabens noch sehr am Anfang befindet, lassen sich derzeit noch keine konkreten Aussagen über die Übertragbarkeit einzelner Gewerke oder bestimmter Vorgehensweisen machen.

Da das Reaktordesign in dieser Form in Deutschland nie zum Einsatz kam, sind einige grundlegende Dinge nicht zu besorgen. Allen voran steht hierbei die spätere Demontage und Lagerung sowie die Endlagerung der Graphitmoderatoren. Die einzige deutsche Anlage, für welche die Entsorgung von größeren Mengen Reaktorgraphit von Bedeutung ist, ist der THTR-300 in Nordrhein-Westfalen. Dieser befindet sich seit 1997 im Zustand des „sicheren Einschlusses“.

#### **3.1.2.10 Leningrad 2, Russland**

Das KKW Leningrad liegt etwa 70 km westlich von Sankt Petersburg an einer Küste des Finnischen Meeresbusens. Der Standort Leningrad umfasst derzeit vier baugleiche RBMK-1000 Reaktorblöcke, von denen der Block Leningrad 1 bereits im Jahr 2018 endgültig abgeschaltet wurde. Die Abschaltung des Blocks 2 erfolgte dann am 10. November 2020. Die Abschaltungen der verbleibenden Blöcke 3 und 4 sind für 2025 und 2026

geplant /WNA 21/. Auf dem Gelände der Anlage Leningrad befindet sich das KKW Sosnowy Bor. Im Jahr 1996 wurde mit dem Bau dieser Anlage begonnen, welche jedoch nie fertig gestellt wurde. Derzeit wird das KKW Leningrad II am selben Standort errichtet. Dieses soll das alte Kraftwerk Leningrad, ersetzen und aus insgesamt sechs WWER-1200/491 Reaktorblöcken bestehen. Aktuell sind bereits die Blöcke 1 (29. Oktober 2018) und 2 (22. März 2021) im kommerziellen Leistungsbetrieb.

Mit einer Betriebszeit von 45 Jahren zählt Leningrad 2 zu einem der ältesten Reaktorblöcke Russlands. Dennoch verfügt Russland nur über sehr begrenzte Erfahrung in der vollständigen Stilllegung von Leistungsreaktoren. Ein Grund hierfür ist, dass in Russland erst seit 1995 im Rahmen der Stromtarife auch ein Beitrag für die Stilllegung alter Kernreaktoren eingepreist ist. Hierdurch kam es im Laufe der Jahrzehnte zu einem finanziellen Defizit /BEL 20/.

Bereits Mitte 2021 wurde im ersten Reaktorblock, Leningrad 1, nach nur drei Jahren, die vollständige Entfernung aller verbliebenen Brennstäbe gemeldet. Alle Brennstäbe mit einem Abbrand von weniger als 50 % wurden in die beiden noch im Betrieb befindlichen Blöcke 3 und 4 gebracht, um dort eingesetzt zu werden /WNN 21a/.

In beiden Fällen folgt nach aktuellem Planungsstand eine Dekontamination aller Reaktorstrukturen mit Ausnahme der Graphitbauteile. Zur Entsorgung und Behandlung dieser laufen derzeit zwei Forschungsprojekte – eines in Sewersk, welche von der IAEA unterstützt wird, die andere in Sosnowy Bor /BEL 21/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Bei der Übertragbarkeit des Stilllegungsprojekts Leningrad 2 auf deutsche Anlagen muss man mehrere Aspekte unterscheiden. Zum einen handelt es sich hierbei um einen Standort mit vier Reaktorblöcken der RBMK-Bauart. In Deutschland ist lediglich der Standort KGR in Greifswald hinsichtlich der Größe vergleichbar. Die KGR-Blöcke sind jedoch, nach einer Laufzeit von unter 20 Jahren, vergleichsweise früh außer Betrieb genommen worden. Im Vergleich hierzu stehen die mehr als 45 Jahre Betriebszeit des Blocks Leningrad 2. Durch die sehr lange Betriebszeit sind deutlich mehr Schwierigkeiten und Herausforderungen während der Stilllegung und dem Abbau zu erwarten.

Auch die Nachnutzung des Anlagengeländes für ein neues KKW ist in Deutschland aktuell ausgeschlossen. Eine solche Vorgehensweise beeinflusst die nötigen Maßnahmen zur Sanierung und Renaturierung der Böden.

Ein dritter Punkt ist der finanzielle Aspekt der Stilllegung. Hier hat Deutschland drei wesentliche Punkte geregelt; zum einen die Deckungsvorsorge für den Betrieb einer solchen Anlage, entsprechend der Atomrechtlichen Deckungsvorsorge-Verordnung (AtDeckV); zum anderen im Rahmen des Einkommensteuergesetz (EstG); hier ist geregelt in welcher Form Rückstellungen für die Stilllegung eines KKW zu erbringen sind; als letzte wurden mit dem Entsorgungsfondsgesetz (EntsorgFondsG) außerdem die Kosten für die Entsorgung der Brennelemente in Form eines Fonds geregelt. Durch diese Vorgaben soll sichergestellt werden, dass zu jedem Zeitpunkt, im Betrieb, Nachbetrieb und der Stilllegung entsprechende finanzielle Mittel zur Verfügung stehen. Dies ist, basierend auf der Recherche, am Standort Leningrad nicht zwingend der Fall.

#### **3.1.2.11 Genkai 2, Japan**

Das Kraftwerk Genkai liegt im Südwesten Japans im Ort Genkai im Higashimatsura-gun der Präfektur Saga. Der Eigentümer ist die Kyushu Electric Power. Am Standort befinden sich insgesamt vier DWR-Blöcke von Mitsubishi, welche in vier einzelnen Bauabschnitten errichtet wurden. Die ersten beiden Blöcke mit einer Nettoleistung von 529 MW wurden 1975 und 1981 in Betrieb genommen. Die Blöcke 3 und 4 haben eine Nettoleistung von 1127 MW und wurden 1993 bzw. 1996 in Betrieb genommen.

Im Jahr 2011 wurden, nach dem Reaktorunfall in Fukushima, alle Blöcke abgefahren. Nach eingehender Prüfung der Möglichkeiten und der nötigen Modernisierungsmaßnahmen wurde im Jahr 2015 beschlossen, den Block 1 dauerhaft außer Betrieb zu nehmen. Am 13. Februar 2019 teilte der Betreiber mit, dass auch der zweite Block, Genkai 2, nicht mehr angefahren wird, und in den Nachbetrieb übergeht. Als maßgeblicher Grund hierfür werden die nach 2011 überarbeiteten Vorschriften genannt, welche eine Laufzeit von maximal 40 Jahren und eine einmalige Verlängerung der Laufzeit von 20 Jahren vorsehen, sofern strenge Sicherheitsanforderungen erfüllt werden. Der Block Genkai 2 wird nun zusammen mit dem Block 1 in Stilllegung überführt /WNN 19a/.

Die Stilllegung untergliedert sich im Wesentlichen in vier Abschnitte. Zunächst sollen nicht kontaminierte Bauteile und Einrichtungen entfernt werden, um Platz zu schaffen.

Im zweiten Schritt werden zum einen die Brennelemente abtransportiert und zum anderen nicht mehr benötigte Versorgungseinrichtungen im Anlagengebäude entfernt. Im dritten Schritt werden die Reaktoreinbauten, der RDB und die Dampferzeuger abgebaut. Der letzte Schritt ist dann der konventionelle Abriss der verbliebenen Gebäude.

Während der gesamten Zeit wird auch die Umgebung der Anlage überwacht und in regelmäßigen Abständen werden auch Proben von Tieren, Pflanzen und Gewässern untersucht /KEP 19/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Die generelle Vorgehensweise für die Stilllegung der Anlage unterscheidet sich nicht von der in Deutschland üblichen. Besonders wichtig in diesem Fall ist das Schaffen von genug Platz in den Gebäuden aber auch auf der gesamten Anlage, um die aufwendigen Zerlege- und Dekontaminationsmaßnahmen durchführen zu können.

#### **3.1.3 Forschungsreaktoren**

##### **3.1.3.1 101 Heavy Water Research Reactor, China**

Am Standort des China Institute of Atomic Energy (CIAE), 40 km südwestlich von Beijing, soll der HWRR (Heavy Water Research Reactor) als erster Reaktor in China stillgelegt und zurückgebaut werden /CIA 19/. An diesem Projekt sollen vor allem Erfahrungen gesammelt werden für die kommenden Abbauprojekte größerer Leistungsreaktoren. Derzeit ist geplant, dass zwischen 2041 und 2045 sechs KKW stillgelegt werden.

Die Anlage wurde bereits im Jahr 2007 endgültig abgeschaltet und 2008 wurde der Reaktorkern komplett in das Brennelementkühlbecken entladen. Seit 2009 ist der Reaktor zudem frei von Kühlmittel. Bei dem Reaktor handelt es sich um einen mit Schwerwasser gekühlten Tankreaktor mit Graphitreflektor. Bis zum Ende des Jahres 2020 war die gesamte Anlage brennelementfrei.

Während der Nachbetriebsphase wurden bereits einige Zerlege-, Demontage- und Dekontaminationstechniken getestet. Der Plan für die Stilllegung wurde erstellt und von der zuständigen Behörde begutachtet. Als Stilllegungsstrategie wurde der direkte Abbau gewählt. Mit dieser Entscheidung folgt der Betreiber der Nationalen Stilllegungsstrategie Chinas. Des Weiteren ist geplant von außen nach innen zu arbeiten, also von Bereichen

mit niedriger Dosisleistung hin zu Bereichen mit höher Dosisleistung. Dies soll unter Berücksichtigung des ALARA-Prinzips (As Low As Reasonably Achievable) und der Minimierung der anfallenden radioaktiven Abfälle geschehen.

Das Ziel ist, alle radioaktiven Materialien zu entfernen und besonders die Graphitbauteile zu konditionieren und zunächst auf dem Gelände zu lagern. Die umliegenden Versorgungsgebäude sollen komplett abgerissen werden. Teile der Schwerbetonabschirmung des Reaktorblocks werden erhalten, und das Gelände soll mit Einschränkungen aus der atomrechtlichen Aufsicht entlassen werden (restricted release). Die verbleibenden Einrichtungen sollen im Anschluss als nationales Nuklearmuseum dienen /CIA 19/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Hinsichtlich der allgemeinen Vorgaben ist das Vorgehen Chinas sehr vergleichbar mit den Prinzipien in Deutschland. Die gewählte Strategie ist der direkte Abbau und zwar unter Berücksichtigung des ALARA-Prinzips und der Minimierung der anfallenden radioaktiven Abfälle. Da es jedoch der erste Reaktor in China ist, welcher stillgelegt und demontiert wird, gibt es keine bisherigen Erfahrungen, die mit Deutschland verglichen werden können. Die Abbaurichtung „von außen nach innen“ entspricht eher der Vorgehensweise wie sie in Deutschland bis vor etwa 15 bis 20 Jahren praktiziert wurde. Aktuell wird in Deutschland eher mit den Kerneinbauten begonnen, also den höchst aktivierten Komponenten.

#### **3.1.3.2 HBWR und Kjeller, Norwegen**

Norwegen möchte in den kommenden 20 Jahren die beiden einzigen nuklearen Anlagen des Landes, zwei Forschungsreaktoren, HBWR und Kjeller, stilllegen und abbauen. Insgesamt werden hierbei voraussichtlich 17 Tonnen Brennelemente zu entsorgen sein.

Geplant ist der Abbau in drei Phasen. In der ersten Phase, welche etwa drei bis fünf Jahre dauern soll, werden vor allem vorbereitende Arbeiten an den Anlagen durchgeführt, da sich noch Brennelemente in der Anlage befinden. In der zweiten Phase werden dann die Brennelemente aus den beiden Anlagen entladen, alle Kühlmittelkreisläufe entleert und eine vollständige radiologische Charakterisierung durchgeführt. Diese Phase soll etwa 10 bis 15 Jahre dauern. Das Ziel der dritten Phase ist die Entlassung aus der atomrechtlichen Aufsicht. Hierfür werden noch einmal drei bis fünf Jahre veranschlagt.

Die radioaktiven Abfälle sollen in einem tiefengeologischen Endlager innerhalb des Landes sicher verbracht werden. Dieses soll etwa 100 Jahre betrieben und danach weitere 300 Jahre überwacht werden. Das Ziel ist der vollständige Abbau an beiden Standorten und die sichere Verwahrung aller radioaktiver Abfälle ohne eine Belastung zukünftiger Generationen /AND 19/.

### **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Die Stilllegungs- und Demontagetätigkeiten in Norwegen sind aufgrund der geringen Anzahl an kerntechnischen Anlagen sehr überschaubar. Dennoch ist die Vorgehensweise vergleichbar mit der in Deutschland. Das geplante Endlager ist ebenfalls ein tiefengeologisches Endlager und soll für 100 Jahre betrieben werden.

#### **3.1.3.3 SVAFO R2, Schweden**

Die Reaktoren R2 und R2-0 waren Teil des Forschungsprogramms der schwedischen Regierung zur Kernenergie aus den frühen 1960er Jahren. Beide Reaktoren wurden im Jahr 2005 nach einer Entscheidung des ehemaligen Betreibers Studsvik Nuclear AB abgeschaltet /BER 19/. Die Stilllegung der Reaktoren R2 und R2-0 ist in drei Phasen unterteilt. Die erste Phase, die an Areva vergeben wurde, umfasst die Demontage der Reaktoren und der zugehörigen Systeme im Reaktorbecken, die Behandlung der demontierten Komponenten sowie die Entleerung und Reinigung des Beckens. In der zweiten Phase wird die Beckenstruktur selbst abgebaut, während in der dritten Phase die Entfernung der verbleibenden Reaktorsysteme, die Behandlung und Entsorgung der Materialien und die Reinigung durchgeführt werden. Die erste Phase wurde im Jahr 2015 bereits abgeschlossen. Aktuell laufen die Arbeiten der zweiten Phase.

Im Laufe der Betriebszeit wurden an der Anlage viele Veränderungen vorgenommen und diese oft nur unzureichend dokumentiert. Die Arbeiten wurden größtenteils fernhantiert durchgeführt, um dem ALARA-Prinzip Rechnung zu tragen. Eingesetzt wurde hierbei ein Kleinbagger vom Typ Brokk 400. Große Unsicherheiten gingen bei diesen Arbeiten vor allem von der unbekanntenen Gesamtaktivität des Betons aus. Grund hierfür waren vor allem die Verrohrungen innerhalb der Betonschichten. Für diese konnten Leckagen im Laufe des 50-jährigen Betriebs nicht ausgeschlossen werden. Zwischen 2016 und 2018 wurden auf diese Weise insgesamt 2.000 Tonnen Material entfernt. Um die Querkontamination möglichst gering zu halten, wurde der gesamte Biologische Schild von einem Caisson umgeben und ein separates Lüftungssystem angeschlossen. Im Allgemeinen

wurden zunächst nicht aktivierte Teile demontiert, welche uneingeschränkt freigegeben werden sollten. Die Arbeiten näherten sich dann schrittweise immer höher aktivierten Bereichen. Im Allgemeinen zeigte sich bei diesen Arbeiten zum einen die Wichtigkeit einer ausführlichen Planung aller Tätigkeiten unter Einbeziehung von eventuellen Störungen. Die zum Teil sehr ungenauen Pläne von Einbauten und Rohrdurchführungen sowie die verbauten eisenerzhaltigen Steine, welche deutlich größer waren als angenommen, stellten eine besondere Herausforderung dar.

## **Übertragbarkeit auf Deutschland**

Ähnliche Herausforderungen treten in Deutschland beim Abbau von Forschungsreaktoren, kerntechnischen Forschungsreinrichtungen sowie Einrichtungen der nuklearen Ver- und Entsorgung auf. Auch in diesen Fällen sind zum Teil, bedingt durch Änderungen an der Anlage und wechselnde Schwerpunkte im Betrieb, die Ausgangssituation für eine Stilllegung und Demontage nicht immer von Beginn an eindeutig. Auch kann sich die Situation selbst bei baugleichen Anlagen an verschiedenen Standorten (mit unterschiedlicher Betriebshistorie) deutlich unterscheiden.

### **3.2 Teilnahme an Konferenzen und Workshops**

#### **3.2.1 DigiDecom 2019**

Die DigiDecom ist ein jährlich stattfindender Workshop zum Thema „Digitalisierung der Stilllegung kerntechnischer Anlagen“. Im Juni 2019 fand die dritte Veranstaltung in norwegischen Halden statt.

Der thematische Schwerpunkt der DigiDecom ändert sich von Jahr zu Jahr. In Jahr 2019 lag der Schwerpunkt auf verbesserten Methoden der Wissensverwaltung, Training und Ausbildung für die nukleare Stilllegung („Advanced methods for knowledge management, training and education for nuclear decommissioning“). Die Teilnehmer kamen von verschiedenen internationalen Organisationen und Behörden, jedoch waren nur sehr wenige Betreibervertreter anwesend. Annähernd die Hälfte der Teilnehmer kam aus Norwegen, die meisten vom Institute for Energy Technology (IFE).

Das Programm war in einsträngige Plenarsitzungen, Diskussionen in Kleingruppen und anschließende Vorstellung der Diskussionsergebnisse gegliedert. Außerdem gab es eine sogenannte „Demo-Session“, bei der Stilllegungstätigkeiten simuliert wurden und

mit VR-Brillen (virtuelle Realität) im ernsthaften Spiel auch selbst durchgeführt werden konnten.

Im Folgenden wird auf besonders interessante Beiträge in Vorträgen und Diskussionen bei der Veranstaltung näher eingegangen.

Zunächst wurde das norwegische Stilllegungsprogramm präsentiert. Die Norwegian Nuclear Decommissioning (NND) ist Norwegens neueste Organisation („agency“), die eng mit dem IFE zusammenarbeitet und ihre Mitarbeiter überwiegend von dort rekrutiert. Es soll das kerntechnische Wissen bündeln und Vertrauen aller Stakeholder aufbauen, dabei unabhängig sein und faktenbasiert arbeiten. Die Unabhängigkeit zeige sich innerhalb der NND auch darin, dass die Einstellung zur Nutzung der Kernenergie gemischt ist. Derzeit arbeiten erst 20 Personen bei der NND; im Jahr 2021 sollen es 200 sein. Im Vortrag der NND wurde herausgestellt, dass in Norwegen soziale Aspekte bisweilen komplizierter sind als technische und das, obwohl Norwegen nur Forschungsreaktoren besitzt. Das Bestreben der NND ist die Optimierung von Kosteneffizienz und der Sicherheit unter Berücksichtigung sozialer Aspekte. Den Kosten wird also ein höherer Stellenwert eingeräumt als sozialen Aspekten. In Norwegen gibt es zwei Forschungsreaktoren in Halden und Kjeller, die beide stillgelegt werden sollen. Zwei weitere Reaktoren sind bereits stillgelegt worden. Zum letzten Stand der Projekte wurde keine Angabe gemacht. Weiterhin stillzulegen sind mehrere Labore und fünf Zwischenlager. Dazu sind Alt-Abfall und insgesamt 17 Tonnen Kernbrennstoff zu entsorgen. Die Zusammenarbeit mit der Öffentlichkeit und Interessengruppen wird als sehr wichtig eingeschätzt.

Um die Sicherheit der Stilllegung weltweit zu erhöhen, setzt sich die NND auch akademisch mit der Stilllegung von KKW auseinander, obwohl Norwegen selbst über keine Leistungsreaktoren verfügt. Die NND sieht eine Planung in drei Phasen vor: Eine Vor-Stilllegungsphase von drei bis fünf Jahren, in der sich Brennelemente im Reaktor befinden. In dieser Phase liegt bereits eine Stilllegungsgenehmigung vor. Die Stilllegungsphase dauert dann 10 bis 15 Jahre. Im Anschluss erfolgen Dekontaminationsmaßnahmen und die Freigabe aus der nuklearen Regulierung (drei bis fünf Jahre). Als erstes sollen hoch aktivierte Komponenten ausgebaut werden. Die geschätzten Kosten für die Stilllegung von KKW liegen bei 130 Mio € pro Jahr und wären somit in Summe deutlich höher als die in Deutschland zurückgestellten Budgets für die Stilllegung.

Im Übersichtsvortrag eines IAEA-Vertreters wurde über den globalen Status der Stilllegung berichtet. Die PRIS-Datenbank der IAEA wird in naher Zukunft verändert und umgebaut. Es werden deutlich mehr Inhalte präsentiert werden, die einen Bezug zur Stilllegung haben. Für den Erfolg von Stilllegungsprojekten wurde betont, dass die Unterstützung durch Stakeholder sehr wichtig sei und dass die Kosten richtig abgeschätzt werden, so dass sie im Verlauf des Projektes nicht unerwartete Höhen erreichen. Vor dem Hintergrund stellen Anlagen, die einen Unfall hatten, eine besondere Herausforderung dar. Die Art der Kommunikation mit Stakeholdern ist dabei, sich zu verändern. In der Vergangenheit wurde entschieden, verkündet und dann verteidigt. Heute sollte zuerst mit der Kommunikation und Einbindung aller Interessengruppen begonnen und anschließend entschieden werden.

Ein Vertreter des IFE stellte die Historie sowie die aktuellen Arbeiten des IFE im Bereich der Stilllegung vor, mit Schwerpunkt Wissensmanagement für Training und Ausbildung. Das IFE arbeitet international beispielsweise mit den KKW Tschernobyl (UA), Leningrad (RU), Andreeva Bay (RU) und Fugen (J) zusammen. Informationen bzw. Wissen wird in Interviews mit Stilllegern wie Areva, Tractebel oder Betreibern gesammelt. Die Themen hierbei sind: Anlagen-Charakterisierung, Projektmanagement, Effizienz, Führung, Change-Management, individuelle Fähigkeiten, jeweils auch mit Blick auf die Sicherheit im radiologischen und konventionellen Bereich. Wissensverlust stellt ein Risiko dar, doch auch die Akquise von Informationen ist herausfordernd: Zu viele Daten, falsche Aufzeichnungen, inkompatible Formate sowie Schaffung und Erhalt von Motivation. Als zweifelhafter aktueller Trend der Digitalisierung wurde der Verkauf sogenannter „Super-Tools“ aus verschiedensten Bereichen ausgemacht, z. B. Managementsysteme, Abfallverfolgung und -behandlung oder VR-Tools. Diese sollen praktisch alles können, erfüllen dieses Versprechen aber tendenziell nicht. Virtuelle Realität (VR) wird im IFE seit 1996 verwendet. Zu dieser Zeit trug der Träger einer VR-Brille zusätzlich einen Rucksack mit der nötigen Elektronik. Seither gibt es einen erheblichen Fortschritt. VR kann beim Training von Tätigkeiten helfen. Sie hilft beim Erkennen von Lücken und bei weiterem Forschungsbedarf. Zur Erstellung der virtuellen Räume gibt es drei Möglichkeiten: 360°-Kameras, 3D-Laser-Scans oder CAD-Modelle. Die erste Variante ist die preisgünstigste, der Einsatz von CAD-Modellen ist am unzuverlässigsten, erfordert aber kein Betreten des Kontrollbereichs und kann anhand von Plänen erfolgen. Eine Hürde, um VR in der Stilllegung zur Anwendung zu bringen, ist der Mangel an guten Erfahrungen. Dies ist eine prinzipielle Hürde beim Einbringen neuer Technologien in der Kerntechnik und anderswo.

Orano (ehemals Areva) berichtete über ihre digitalen Trainings- und Qualifizierungswerkzeuge. Das Tool SiBAG ist ein Simulator einer Handschuhbox in 3D. Es soll dazu dienen, die Leistung des Personals und die Sicherheit zu verbessern. Dafür wurden 38 typische Szenarien entworfen. Sie basieren auf den Fehlern „Druckabfall“, „Feuer“ und „Containment-Defekt“. Es handelt sich um jeweils 30-minütige Sessions. Sie bieten aber keinen Ersatz für Feldübungen, machen diese aber seltener, sparen Geld und sind schneller durchführbar. Weiterhin gibt es einen Umlaufkran-Simulator („polar crane“). In der Simulationskabine werden selbst die echten Geräusche, Lüftung und Temperatur simuliert. Die Tools dienen insgesamt dazu, komplexe Arbeiten zu qualifizieren, dem Training wiederholter Tätigkeiten oder auch zum Sicherstellen der Wartbarkeit. Vor Beginn der Simulationen müssen alle relevanten Parameter bekannt sein, damit sie berücksichtigt werden können (Beispiel: Kann evtl. ein Kabel am unteren Ende der Maschine herunterhängen und irgendwo scheuern, so dass es nach Monaten defekt ist?).

Ein Betreibervertreter vom KKW Leningrad sowie vom IFE berichteten über den Einsatz der Software VRdose für das KKW Leningrad. Die Software existiert seit 1999 und wird seither ständig weiterentwickelt. Zunächst diente es zum Training des Brennstoffwechsels. Heute wird es auch zur Planung zusätzlicher Abschirmung genutzt, um die notwendige Stärke und die ideale Anordnung zu ermitteln. Als Beispiel wird ein Raum gezeigt, der die Berohrung des Reaktorkühlsystems zeigt. Die jeweilige Ortsdosisleistung (ODL) mit oder ohne Einsatz von Zusatzabschirmungen wird gezeigt. Die Berechnung der resultierenden Dosis erfolgt anhand des Einsatzes von Szenarien, die auf einer Zeitleiste angeordnet werden. Gamma-Quellen werden visualisiert. In der Demo-Session (s. letzter Absatz) wurde das Programm mit einem solchen Szenario vorgeführt. In der Gruppendiskussion wurde schlussgefolgert, dass die Herausforderung in der Implementierung neuer Technologien liegt. Um diese zu erreichen, ist ggfs. ein Benchmarking notwendig, das aber nicht immer möglich ist, da die Vergleichbarkeit nicht immer gegeben ist. Es braucht die „early adopters“, also mutige Vorreiter, die ihre Erkenntnisse teilen. Es reicht nicht, das Management und die Behörden von einer neuen Technologie zu überzeugen, auch die Gesellschaft muss überzeugt werden. VR-Techniken bergen das Risiko des Negativtrainings, wenn bestimmte Annahmen von vornherein falsch getroffen wurden.

Über den Einsatz von VR zum Training von Notfallmaßnahmen wurde von der schwedischen „Civil Contingencies Agency“ berichtet. Es stellte sich heraus, dass die im „erst-

haften“ Spiel leicht mögliche Vertauschung von Rollen besonders wichtig ist, um die Perspektive der Kollegen einnehmen und Handlungsweisen besser verstehen zu können. Fotorealismus, wie er von vielen VR-Entwicklern gepriesen wird, sei nicht nötig. Wichtig sei hingegen, dass die Avatare eine realistische Größe haben. Das VR-Training schaffe ein Bewusstsein für Gefahren, ohne sich einer echten Gefahr aussetzen zu müssen.

Die Software N-Visage-Recon von Createc kann dazu verwendet werden, die Stilllegung zu unterstützen. Dazu wird die Gamma-Strahlung innerhalb einer Anlage zunächst gescannt (2D) und 3-dimensionale Bilder aufgenommen. Beides wird anschließend zusammengerechnet bzw. überlagert, so dass ein 3D-Kontaminationsbild der Anlage entsteht. Eingesetzt wird das Tool in Block 2 des KKW Fukushima sowie in Anlagen des britischen Standortes Sellafield. In Fall Sellafield wurden wegen fehlender 3D-Kameras Helmkameras genutzt und die Anlage damit durchlaufen. Möglich ist aber auch der Einsatz von Drohnen für die Aufnahmen. Die gewonnenen Daten werden in ein Handgerät gespeist, das eine Überlagerung von Bild und Strahlung anzeigt und anhand der Daten „weiß“, wo es sich befindet und was es misst.

In nur einem Beitrag wurde das Thema künstliche Intelligenz (KI) behandelt, ohne direkten Bezug zur nuklearen Stilllegung. Dies verwundert auf den ersten Blick, da in KKW sehr viele Daten anfallen, die systematisch und automatisiert ausgewertet werden könnten und zum Anlernen von KI geeignet wären. Denkbar wäre ein Einsatz zur Prognose von Strahlenexposition, Kosten, Abfallmanagement, der Stilllegungsdauer oder zur Ablaufplanung. Der Autor hat hierzu eine Diskussion in einer Kleingruppe angeregt. Es wurde geschlussfolgert, dass Daten zwar vorhanden wären, diese aber – insbesondere für externe Dienstleister – schwer zu bekommen sind. Darüber hinaus ist eine Vergleichbarkeit zwischen Anlagen in verschiedenen Ländern nur begrenzt möglich.

In der sogenannten Demo-Session war ein Raum im Gebäude des IFE zur Vorführung verschiedener Projekte der virtuellen Realität vorbereitet. Hierbei zeigten die internationalen Redner der entsprechenden Vorträge ihre jeweiligen VR-Tools. Durch angeschlossene VR-Brillen und Eingabegeräte konnte sich jeder Teilnehmer einen Eindruck davon verschaffen, welche Möglichkeiten die Programme heute bieten. In den meisten Fällen sollten kleine Aufgaben selbst bewältigt werden, die sich dem Autor allerdings als wenig realitätsnah darstellten. Besonders bei Montage- und Demontearbeiten wurden keine mechanischen Vorgänge simuliert, so dass etwa ein Ventil mit zwei Fingern aus der Ein-

baulage aufgehoben werden konnte, statt es abzuschrauben. Die Darstellung von Gefahren und die Schaffung von Risikobewusstsein konnten aber durchaus erreicht werden.

## **Fazit**

Anhand der Vorträge ist derzeit ein Trend hin zu virtueller Realität für das Training und zu gemischter Realität (mixed reality oder auch augmented reality) für das unterstützte Arbeiten zu beobachten. Obwohl aktuell im Trend der Digitalisierung, waren KI und Big-Data-Analysen auf der Veranstaltung kein Thema.

Die VR-Demo zeigte die Möglichkeiten aber auch die Grenzen dieser Technologie auf. Zum Erlernen der richtigen Gefahrenvermeidung, Kooperation und Verhaltensweisen scheint die Technik bereits geeignet zu sein. Zum Üben komplexer Tätigkeiten scheint diese – jedenfalls basierend auf dem Präsentierten – noch kaum geeignet.

### **3.2.2 International Conference on Nuclear Decommissioning (ICOND) 2020**

Wie viele andere Veranstaltungen wurde auch die ICOND 2020 wegen der Einschränkungen in der Covid-19-Pandemie als reine Online-Veranstaltung im November 2020 durchgeführt. Über die Teilnahme wurde ein Kurzbericht verfasst, auf den für ausführlichere Informationen verwiesen wird /DIT 20/. Ausgerichtet wurde die Konferenz vom Aachen Institute for Nuclear Training GmbH (AiNT) in Kooperation mit ENGIE SA, der Tecnubel GmbH, Tractebel Engineering und der GNS mbH. Insgesamt nahmen nur 181 Teilnehmer aus 15 Ländern teil (285 bzw. 362 in den beiden Vorjahren). Die Schwerpunkte des wissenschaftlich-technischen Programms der ICOND 2020 lagen auf den fünf fachlichen Themengebieten

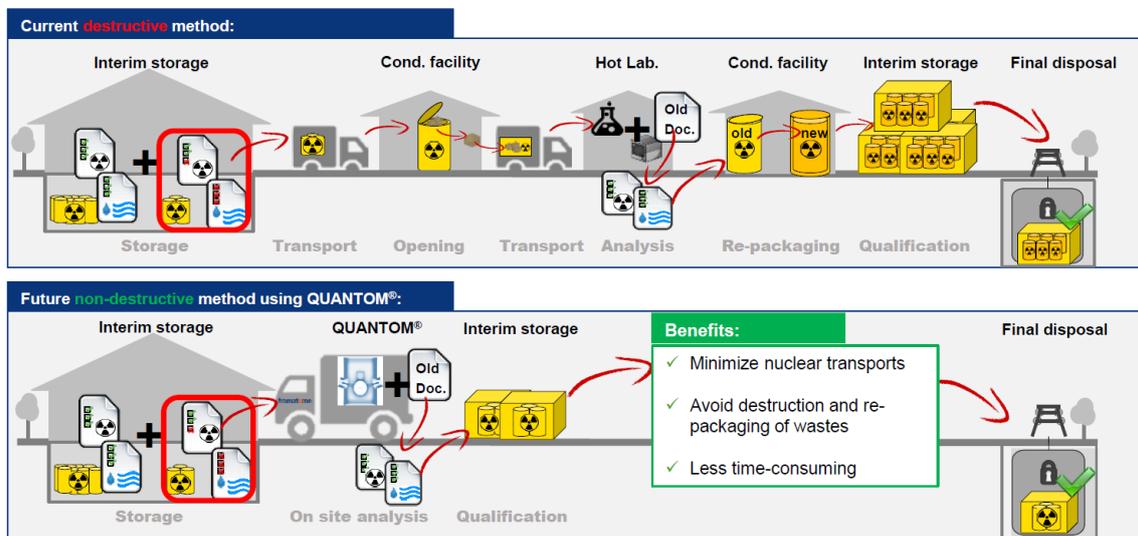
- Strategies & Market Developments,
- Project Status & Experiences,
- Decommissioning & Digitalization,
- Decontamination & Decommissioning Technologies und
- Characterization & Waste Management,

denen jeweils mehrere der insgesamt 26 Vorträge zugeordnet waren. Die Veranstaltung war, trotz eigentlich internationaler Ausrichtung, stark von Vorträgen deutscher Teilnehmer geprägt, was sicherlich der Pandemiesituation geschuldet war. Im Folgenden werden daher einige für das Vorhaben relevante internationale Beiträge herausgegriffen und deren Inhalt wiedergegeben.

Ein Vertreter von ENGIE SA stellte das belgische Stilllegungsprogramm aus Betreiber-sicht vor und ging insbesondere auf die anstehende Stilllegung der ersten beiden Reaktorblöcke näher ein. Belgien steigt bis 2025 aus der Nutzung der Kernenergie zur Erzeugung von Elektrizität aus. Im Land sind derzeit sieben Reaktoren an den Standorten Doel und Tihange in Betrieb. Sie befinden sich im sogenannten Langzeitbetrieb, da die ursprünglichen Abschalttermine verschoben wurden. Den Anfang wird die Anlage Doel 3 machen und planmäßig am 1. Oktober 2022 endgültig abgeschaltet. Danach soll Tihange 2 am 1. Februar 2023 folgen. Anders als bei geplanten Stilllegungen in Deutschland seit einigen Jahren verfahren wird, plant Engie mit einer Nachbetriebsphase von 5 ½ Jahren für Doel 3, so dass das Ende der Nachbetriebsphase für Anfang 2028 geplant ist. Währenddessen soll neben dem Abtransport von Betriebsabfällen und Brennelementen ins Standort-Trockenlager auch eine Systemdekontamination durchgeführt werden. Erst danach kann mit dem Abbau begonnen werden, sofern eine Stilllegungsgenehmigung bis dahin erteilt wurde. Im Jahr 2037 soll das Reaktorgebäude und 2045 die Gesamtanlage Doel freigegeben werden. Erklärtes Ziel ist, die Reaktoren möglichst simultan abzubauen, so dass sich Wartezeiten ergeben, bis mehrere Stilllegungsgenehmigungen vorliegen. Im Gegensatz zu Deutschland liegen in Belgien noch keine Erfahrungen mit dem Abbau von KKW vor (bisher nur Forschungsreaktoren), so dass zunächst beispielsweise noch Konzepte erarbeitet werden, eine Abbau-Infrastruktur geschaffen und eine Transportlogistik etabliert werden muss. Auch die Erstellung von Genehmigungsanträgen ist in der Form neu. Zur Vorbereitung wird eine Inventarisierung und radiologische Charakterisierung der Anlage durchgeführt, um die späteren Abfallströme kalkulieren zu können. Die Abfälle werden in drei Kategorien einsortiert: Konventioneller Abfall (nach Masse ca. 99 %), Kategorie A (1 Massen-%) und Kategorie B (0,02 Massen-%). Dabei wird erwartet, dass 9 Massen-% des Gesamtabfalls durch Nachbehandlung von radioaktivem Abfall zu konventionellem Abfall deklassiert werden können. Kat. A-Abfälle werden in oberflächennahen Endlagern und Kat. B-Abfälle in Tiefenendlagern gelagert. Annahmebedingungen für Abfälle in Zwischen- und Endlagern sind noch nicht definiert. Aus diesem Grund wird vorläufig kein Abfall konditioniert.

Der Beitrag eines Vertreters von Framatome GmbH mit dem Titel „Non-destructive Material Characterization of Radioactive Waste Packages with QUANTOM®“ beschäftigte sich inhaltlich mit der (Nach-)Charakterisierung des Inhalts von Abfallgebinden mittels P&DGNAA (Prompt & Delayed Gamma Neutron Activation Analysis).

Verursacher von schwach- und sehr schwach aktiven Abfällen müssen in Deutschland die strikten Annahmebedingungen des Endlager Konrads erfüllen. Hierzu zählen vor allem die Bestimmung des radioaktiven Inventars (Radiologische Charakterisierung) als auch die Identifizierung und Quantifizierung des Abfalls (Materialcharakterisierung). Aktuell geht man davon aus, dass von ca. 15 % der in Landessammelstellen befindlichen Abfälle die Dokumentation nur unzureichend ist. Eine Öffnung der Fässer, gefolgt von einer (radio)chemischen Analyse (zerstörende Analyse), ist zeit- und kostenaufwändig. Darüber hinaus müssen einmal geöffnete Abfallgebinde als neuer Abfall deklariert und erneut konditioniert werden. Konventionelle, zerstörungsfreie Charakterisierungsmethoden sind nach Herrn Coquard unzureichend. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde die zerstörungsfreie Materialcharakterisierungsmethode QUANTOM® entwickelt. Die Abb. 3.1 stellt schematisch die Unterschiede bei der Nachqualifizierung von Abfällen mittels zerstörenden und zerstörungsfreien Charakterisierungsmethoden dar.



**Abb. 3.1** Unterschiede bei der zerstörenden- und nicht-zerstörenden Charakterisierung radioaktiver Abfälle im Rahmen der Nachqualifizierung /DIT 20/

Bei QUANTOM® werden die Abfallgebinde mit einer mobilen Neutronenquelle (Neutronengenerator) bestrahlt und die emittierten prompten und verzögerten Gammaquanten – hauptsächlich im Zuge von (n,γ)-Reaktionen – mittels eines n-Typ Germaniumdetektors detektiert. Das Messkonzept von QUANTOM® sieht dabei vor, dass das Abfallfass geometrisch in verschiedene Lagen und jede Lage in 12 bis 20 Segmente aufgeteilt

wird, welche bestrahlt und anschließend unter Verwendung zweier parallel eingesetzten Detektoren gemessen werden. Der entscheidende Vorteil von QUANTOM® ist, dass dieses mobil einsetzbar ist. Der komplette Aufbau kann in einem 25-Fuß-Container installiert werden. Die beim Betrieb auftretenden Dosisraten liegen in einer Entfernung von 25 cm zum Container unter 10 µSv/h. Für den Einsatz von QUANTOM® muss eine obligatorische Meldung nach § 17 StrlSchG angezeigt werden.

Das Projekt zur Entwicklung von QUANTOM® begann im September 2018 in einer Kollaboration der AiNT GmbH, der Framatome GmbH und des Fraunhofer Instituts (for Scientific Technological Trend Analysis), gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. Gegenwärtig befindet man sich in der Validierungsphase und man plant mit einem routinemäßigen mobilen Einsatz im Jahr 2022.

### **Schlussfolgerungen**

Bei den Beiträgen auf der ICOND 2020 wurde besonders die Situation der Stilllegung von Leistungsreaktoren in Deutschland auf verschiedene Weise thematisiert. Es wurde deutlich, dass bei einer größeren Anzahl ähnlicher Anlagen ein Flottenansatz sinnvoll sein kann, um Kosten einzusparen, von Erfahrungen zu profitieren und dadurch mittelbar sogar die Sicherheit zu erhöhen. In Belgien verfolgt man ein ähnliches Ziel, geht dort jedoch anders vor und nimmt Wartezeiten in Kauf. Es ist zweifelhaft, ob diese Vorgehensweise mit der Vorgabe eines direkten Abbaus (nach AtG) vereinbar wäre. Abbautechniken werden weltweit (weiter-)entwickelt. Man erkennt Tendenzen einer zunehmenden Digitalisierung, indem beispielsweise Abbauschritte vorab in 3D-Modellen „durchgespielt“ und resultierende Abfallmengen und Gebindetypen vorausgesagt werden. In Deutschland werden in Einzelfällen Modelle für spezifische Fragestellungen eingesetzt. Im Wesentlichen wird aber auf Erprobtes und Bewährtes gesetzt.

#### **3.2.3 International Conference on Decommissioning Challenges: Industrial Reality, Lessons Learned and Prospects (DEM) 2021**

Vom 13. bis 15. September 2021 fand in Avignon, Frankreich die DEM 2021 “International Conference on Decommissioning Challenges: Industrial Reality, Lessons Learned and Prospects“ (in Präsenz) statt. Insgesamt nahmen 315 Personen teil. Bei der vorigen Veranstaltung im Jahr 2018 waren es 450 Teilnehmer. Vereinzelt fanden auch Live-Videoschalten statt, die anschließende Fragen erlaubten. Einige Vorträge von Teilnehmern aus Nicht-EU-Ländern fielen aus. Entsprechend war die DEM 2021 europäisch

geprägt, bei einem hohen Anteil an französischen Teilnehmern (ca. 2/3). Neben Plenarsitzungen am ersten Tag und zu Beginn des zweiten Tages, wurde in vier parallelen Sessions vorgetragen. Es gab insgesamt 150 Präsentationen auf der Veranstaltung. Die GRS hat in der Session zum digitalen Beitrag zur Stilllegung vorgetragen und das GRS-Stilllegung-WIKI vorgestellt. Hierzu wurde außerdem ein Konferenzpaper erstellt und veröffentlicht /SPA 21/.

Die Veranstaltung begann mit mehreren Eröffnungsreden der veranstaltenden Parteien CEA, IAEA, Orano und NEA, in denen die internationale Situation im Bereich der Stilllegung nuklearer Anlagen mit Schwerpunkt auf dem jeweiligen Einflussbereich dargestellt wurde. Die französische CEA verfügt über ein jährliches Budget von 740 Mio. € und deckt damit drei verschiedene Projekttypen ab: Stilllegung, Altabfälle und Neuanlagen, welche die Abfallentsorgung betreffen. Seit 2016 wird bei allen Entscheidungen der Strahlenschutz an erster Stelle priorisiert. Rund 30 % der CEA-Ausgaben betreffen Entsorgungskosten.

Orano ist in über 50 Stilllegungsprojekten weltweit involviert, darunter auch in Deutschland. Jedes Jahr werden etwa 250 Mio. € für sogenannte End-Of-Life-Ausgaben investiert. Ein Schwerpunkt der Arbeiten konzentriert sich auf La Hague. Für die Stilllegung des dortigen UP2-400-Gebäudes sind ständig über 800 Personen vor Ort. Der Stilllegungsfortschritt wird derzeit mit 35 % angegeben.

In einer von einem Vertreter der NEA gezeigten Grafik wurde deutlich, dass international in Zukunft die Anzahl an Neubauten von KKW sinken wird. Ab dem Jahr 2025 sind derzeit keine Inbetriebnahmen absehbar. Andererseits stehen viele endgültige Abschaltungen in den nächsten 20 Jahren an, auch unter Berücksichtigung von Laufzeitverlängerungen.

Als wichtige Herausforderungen weltweit wurden bezeichnet:

- Vorplanungen zur Stilllegung häufig unzureichend
- Kommunikation zwischen allen Stakeholdern ist ineffektiv
- Optimierungsprozess ist unzureichend

Der Transfer betrieblichen Wissens sollte dafür in allen Phasen, auch während des Leistungsbetriebs, stattfinden. Auch die Wichtigkeit der Einbindung von Interessengruppen (Stakeholder Involvement) in den Entscheidungsprozess wurde betont.

Ein Vertreter der IAEA berichtete über Ergebnisse des IAEA-Projektes zum globalen Status der Stilllegung (Global Status of Decommissioning). Weltweit ist im industriellen Zeitalter der Energiebedarf jedes Jahr gestiegen, wobei fossile Energieträger dominieren und 60 % ausmachen (40 %-Punkte allein für Öl). Auch der nukleare Anteil ist bis 2019 gestiegen, trotz vieler endgültiger Abschaltungen. Beeinflusst vom Reaktorunfall in Fukushima im Jahr 2011 wurden 66 Abschaltungen durchgeführt (22 in Japan, 11 in Deutschland, Stand: September 2021). Im Rahmen des Projektes wurde eine Umfrage zum Status der Stilllegung im jeweiligen Land durchgeführt, wobei hinsichtlich Forschungsreaktoren und Anlagen der Ver- und Entsorgung die Beteiligung unter 10 % betrug und damit kaum repräsentativ sein dürfte. Bei KKW war die Beteiligung dagegen hoch. Insgesamt war die Beteiligung aus Europa am größten. Als generellen Trend lässt sich feststellen, dass mehr direkt abgebaut wird, anstatt verzögert abzubauen (Sicherer Einschluss); der Anteil lag zuletzt bei 90 % direkter Abbau. Am stärksten ausschlaggebend dafür sind politische Entscheidungen für eine bevorzugte Strategie. Im Schnitt dauert die Nachbetriebsphase 9,2 Jahre bei KKW, 8,8 Jahre bei Forschungsreaktoren und 3,5 Jahre bei Anlagen der Ver- und Entsorgung. Die mittlere Stilllegungsdauer beträgt derzeit 13,7 Jahre bei KKW, bei anderen Anlagentypen weniger. Geschwindigkeitsbestimmend war dabei bei KKW am häufigsten die Entsorgungsproblematik, während bei Anlagen der Ver- und Entsorgung technische Probleme den Ausschlag gaben. Einen Strategiewechsel weg vom verzögerten und hin zum direkten Abbau vollziehen derzeit die USA, insbesondere weil so Unsicherheiten im Projekt und bei den Kosten vermieden werden können.

Von EDF gab es ein Update des Vortrages aus der letzten DEM 2018 zum Projekt Immo4Graph im Rahmen des Projektes Horizon 2020, welches sich mit der Simulation und mit Mock-Ups für die Stilllegung von graphitmoderierten KKW beschäftigt. Die besondere Herausforderung liegt in der Größe der Anlagen im Vergleich zu Leichtwasserreaktoren, ihrer entsprechenden Masse und dem Materialverhalten der verbauten Graphitblöcke. Weltweit betrifft die Problematik zehn Anlagen vom Typ UNGG, 28 Magnox-Anlagen, 17 RBMK-Anlagen und 14 vom AGR-Typ. In Frankreich ist die Anlage Chinon A2 die erste von sechs Anlagen, die abgebaut wird. Hierzu wird ein sogenannter kalter Demonstrator für Übungen erbaut. Die Halle wurde von Juli 2020 bis April 2021 errichtet,

der Demonstrator soll bis 2027 betriebsbereit sein. Damit sollen verschiedenen Abbauszenarien erforscht werden.

In einem Vortrag wurde über die Stilllegung der verunfallten US-Anlage Three Mile Island 2 (TMI-2) berichtet und dabei zunächst der Unfall rekapituliert und beschrieben, wie im Nachgang vorgegangen wurde. Nachdem die Lage stabilisiert wurde, wurde im Jahr 1985 mit der Brennelement-Entladung begonnen. Hierfür wurden Transportbehälter unter Wasser gebracht und dort mit Bruchstücken zerstörter Brennelemente beladen. Bereits im Jahr 1993 soll der Zustand der Anlage TMI-2 vergleichbar mit anderen Anlagen im sogenannten SAFSTOR-Zustand, also einem Sicheren Einschluss, gewesen sein. Bisher hat die Stilllegung 1 Mrd. US\$ gekostet. Bisher sind 65 Personen-Sv Kollektivdosis angefallen sowie 5900 m<sup>3</sup> an radioaktivem Abfall. Die Stilllegung von TMI-2 soll im Jahr 2037 abgeschlossen sein.

Im Anschluss folgten zwei Vorträge zur Stilllegung der Unfallanlagen im japanischen Fukushima. Während ein Vertreter vom Betreiber des KKW die Historie der ergriffenen Maßnahmen von 2011 bis dato beschrieb, ging es bei der Präsentation eines Vertreters von Orano um technische Details der Rückholung zerstörter Brennelemente. Ab 2018 wurde mit einer unterirdischen Eiswand versucht, den Zutritt von Grundwasser in die Anlage und den Abfluss kontaminierten Wassers ins Meer zu verhindern. Ein Reststoffzentrum zur Aufnahme und Verarbeitung dieses Wassers war bereits im Jahr 2015 fertig gestellt worden. In den Blöcken 1 bis 3 kam es zu Kernschmelzen, die jedoch unterschiedlich tief in die Gebäudestrukturen gedrungen sind. Die Rückholung von BE-Bruchstücken gelang bisher in Block 3. Diese fand von 2019 bis 2021 statt. Hierfür wurden Verfahren von Orano eingesetzt, die zuvor schon in französischen Anlagen eingesetzt wurden, darunter auch in La Hague. Mit Laserschneiden wurden BE-Bruchstücke bearbeitet, um sie zu verpacken und abtransportieren zu können.

In einer Panel-Diskussion betonten die Teilnehmer von Europäischer Kommission, NEA und IAEA die Wichtigkeit des Erhalts und der Weitergabe von Wissen. In der EU ist eine unionsweite Wissensplattform geplant, welche jedoch unbedingt Duplikate vermeiden soll. Sie soll auch helfen, Standards in der EU zu etablieren. Die NEA stellte das Pleiades-Projekt vor, das die Ermittlung des Forschungsbedarfes im Bereich der Stilllegung zum Ziel hat. Dafür sollen digitale Werkzeuge zur Vernetzung geschaffen und genutzt werden, die eine möglichst einheitliche Ontologie verwenden (wie z. B. ein semantisches WIKI). Die IAEA verwies ebenfalls auf ihre Stilllegungsnetzwerke, etwa Connect und das

IAEA WIKI aber auch auf den Nutzen des persönlichen Austauschs. Auf das nächste IDN-Forum vom 13. bis 15. Dezember 2021 wurde hingewiesen.

Finnland macht gerade die ersten Erfahrungen mit der Stilllegung kerntechnischer Anlagen. Der Abbau des FIR 1 Triga-Reaktors wird derzeit vorbereitet, doch es gibt Verzögerungen bei den Charakterisierungsmaßnahmen und den Genehmigungen aufgrund der pandemiebedingten Einschränkungen. Bis 2023 sollen alle notwendigen Genehmigungen erteilt worden sein. Derzeit laufen Charakterisierungsarbeiten zur Kontamination. Kalkulationen zur Beton-Aktivierung wurden und werden durchgeführt, damit Vorhersagen über Art und Anzahl von Abfallbinden getroffen werden können.

Ein Vertreter von Framatome berichtete über die spezielle Behandlung der Innenflächen des schnellen Brutreaktors Superphenix in Frankreich, welche mit kontaminiertem Na benetzt waren. In die Na-haltigen Kreisläufe wurde bis 2020 eine Mischung aus Wasser und CO<sub>2</sub> sowie N<sub>2</sub> eingebracht, die zur Bildung von Natriumcarbonat führen sollte. Im Ergebnis sind die inneren Oberflächen inert und reagieren nicht mehr mit der Umgebungsluft bzw. der Luftfeuchtigkeit. Dadurch sind anschließend auch manuelle Arbeiten an Luft möglich. Das Carbonat kann abgebürstet oder abgewaschen werden, und zurück bleibt das Metall der Komponente. Allerdings ist das abgetragene bzw. abzutragende Natriumcarbonat kontaminiert, was die Handhabung wiederum erschwert. Das Karbonisierungsverfahren ist kein Dekontaminationsverfahren im eigentlichen Sinne, führt aber als Nebeneffekt auch zu einer gewissen Dekontamination.

Ein Vertreter von Framatome Deutschland berichtete von den letzten Erfahrungen mit Systemdekontaminationen (FSD) mit dem HP-Cord-UV-Verfahren. Da DWR- und SWR-Anlagen international sehr unterschiedlich bei den verbauten Materialien sind und sich auch die Kühlmittelchemie unterscheidet, sind in der Regel Anpassungen des Dekontaminationsverfahrens an die Anlagentypen notwendig. Ursprünglich war das CORD-Verfahren vor allem auf Incoloy-800 (deutsche DWR) und Kohlenstoff-Stahl (z. B. WWER-400) optimiert. In den deutschen SWR-Anlagen Isar 1 und Krümmel wurden im Jahr 2015 respektive 2016 FSD durchgeführt. Dabei wurde Stickstoff eingeblasen, um das mit den Dekontchemikalien versetzte Wasser besser im oberen Bereich des Reaktordruckbehälters (vor allem Dampftrockner) zu verteilen. Da es zur Bildung von Wasserstoffgas kommen kann, wurde dessen Produktion permanent überwacht. Die mittleren Dekontfaktoren (DF) betragen 46 für KKI 1 und 48 für KKK. Als weitere Referenzen wurden FSD in den Anlagen Grafenrheinfeld (2010 und 2016) sowie in den japanischen Anlagen Genkai (2018) und Mihama (2017) aufgeführt. In letzteren kommt (wie in vielen

US-amerikanischen Anlagen) Incolloy 690 zum Einsatz, welches einen sehr hohen Nickelgehalt hat. Diese Legierung bildet dünne, aber sehr harte Oxidschichten aus, die deshalb eine Herausforderung für ein Dekontverfahren darstellen. Die Zielmarke des DF ist mit 30 daher geringer.

Ein Vertreter von Orano berichtete über das Engagement des Unternehmens in der weltweiten Stilllegung. Die größten Projekte sind derzeit in Deutschland, Frankreich und den USA angesiedelt. Orano ist u. a. an der Stilllegung der deutschen KKW's Stade, Gundremmingen und Brunsbüttel beteiligt. Von den Erfahrungen aus Deutschland profitiere man technisch auch bei der Stilllegung der Anlage Vermont Yankee in den USA. Unterschiede gibt es aber vor allem bei Gesetzen und Regularien. In den USA hat mit Stilllegungsbeginn ein Genehmigungsübergang zu Orano stattgefunden. Auch musste ein Abfallcontainer speziell entwickelt werden, der an die Anforderungen des Projekts genau angepasst wurde. Im Unterschied dazu wird in Deutschland der Behälter für sich genehmigt und kann dann „überall“ eingesetzt werden. Beim Abbau des KKW Crystal River (USA) wurde zunächst Wissen und sogar Personal aus Deutschland eingesetzt, mittlerweile findet jedoch nur noch ein Wissenstransfer statt. Auf die Frage aus dem Plenum, ob die Erfahrungen aus Deutschland nicht auch in Frankreich genutzt werden können, lautete die Antwort, dass dies vor allem eine politische Entscheidung sei. Man werde sich künftig zunächst an Stilllegungsprojekten in Belgien beteiligen.

Ein Vertreter von der SMP GmbH (Deutschland) berichtete über die Vor- und Nachbereitung der Sprengung der Kühltürme am KKW Philippsburg. Vor der Sprengung wurde durch Simulationen ermittelt, ob bzw. in welchem Ausmaß die Sprengung(en) Einfluss auf den zunächst noch stehenden zweiten Kühlturm und das BE-Lagerbecken im Block 2 hat. Ausschlaggebend dafür sind die Bodenvibrationen beim Auftreffen herabstürzender Betonteile, die durchaus vergleichbar sind mit Erschütterungen durch Erdbeben. Die Simulation ergab, dass das BE-Becken auf diese Erschütterungen ausgelegt ist. Die Beanspruchung des zweiten Kühlturms betrug laut Simulation (und auch real) 110 % dessen, wofür dieser ausgelegt ist. Die Sprengung war genehmigt, der zweite Kühlturm hielt stand und wurde mit einer Verzögerung von 12 Sekunden nach dem ersten ebenfalls gesprengt. Die Simulationsergebnisse stimmten gut mit den tatsächlichen Messwerten überein. Profitieren konnte man von einer internationalen Datenbank mit Erdvibrationsdaten bei Sprengungen von Kühltürmen. Zur Modellvalidierung wurde außerdem ein sogenannter „Shaker“ eingesetzt, der künstlich definierte Vibrationen erzeugen kann.

In der Session zur Digitalisierung der Stilllegung, in dem auch der GRS-Beitrag präsentiert wurde, beschäftigte sich ein großer Anteil der Beiträge mit dem „Building Information Management“ (BIM), also der Verwaltung von Gebäudeinformationen für die Stilllegung. Darunter fiel auch ein Vortrag über das Pleiades-Projekt. Dieses sieht die Erstellung einer eigenen Plattform für BIM vor, um damit verschiedene Szenarien zur Optimierung von Sicherheit, Strahlenschutz, Kosten und Kommunikation aufstellen zu können. Es soll dabei Software verschiedener Partner kombiniert werden, etwa Planungssoftware, 3D-Anwendungen, Dosis-Berechnungstools. Referenzprojekte sind dabei der norwegische Halden-Reaktor, sowie je ein französischer und ein spanischer Reaktor. Im Jahr 2021 soll die Softwarearchitektur festgelegt werden. Im Jahr 2022 soll die Plattform aufgesetzt und anhand von sechs Nutzerbeispielen validiert werden. Weitere Beiträge zu der Thematik gab es z. B. zur französischen Anlage Fessenheim, für die ein detailliertes 3D-Modell vorliegt oder über Chinon A2, einem großen graphitmoderierten Reaktor. Da auch bei anderen Veranstaltungen über diese Anlagen berichtet wurde, wird auf die entsprechenden Berichte im Folgekapitel verwiesen.

### **Schlussfolgerung**

Die DEM 2021 bot einen guten Überblick über die verschiedenen Facetten der Stilllegung kerntechnischer Anlagen, insbesondere mit Blick auf KKW. Auch bedingt durch Reisebeschränkungen wegen der Covid-19-Pandemie war die Konferenz stark europäisch geprägt. Wie schon im Jahr 2018 war ein großer Anteil der Teilnehmer aus Frankreich. Die mit den umfangreichen Stilllegungsarbeiten in Deutschland verbundene Erfahrung im Bereich der Stilllegung wird im persönlichen Gespräch sehr geschätzt.



## **4 Teilnahme am internationalen Erfahrungsaustausch in internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung**

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse und Ergebnisse dargelegt, die bei der Teilnahme in internationalen Netzwerken und Projekten zur Stilllegung gewonnen werden konnten. Hierzu werden auch wiederkehrende Workshops zu spezifischen Fragestellungen gezählt, die von der IAEA oder OECD/NEA bzw. ihren Netzwerken initiiert wurden.

### **4.1 Projekte der IAEA**

In den regelmäßigen Treffen des IDN, dem IDN-Forum, wird über die aktuellen und zukünftigen IAEA-Aktivitäten im Bereich der Stilllegung berichtet. Des Weiteren berichten die Vertreter der teilnehmenden Länder über ihre nationalen Stilllegungsaktivitäten. Mittels Umfragen an die Ländervertreter wird ermittelt, welche Fortschritte in den Ländern in der Stilllegung gesehen werden, welche Herausforderungen bestehen und inwieweit die Erwartungen an das IDN erfüllt werden. Auf dieser Basis wird die Zielrichtung für künftige IDN-Projekte mitbestimmt.

Über die gesamte Projektlaufzeit waren GRS-Mitarbeiter an den Treffen des IDN beteiligt.

Aus dem IDN heraus werden – auch ausgehend von Vorschlägen der Repräsentanten der Mitgliedsländer – neue IAEA-Projekte initiiert. Hierzu zählen mit Stand März 2022, folgende IAEA-Stilllegungs-Projekte:

- COMDEC (Abschluss der Stilllegung)
- MIRDEC (medizinische und kleine nukleare Einrichtungen)
- IDN Decommissioning WIKI/Knowledge Management workshops (Wissensmanagement)
- Global Status of Decommissioning (globaler Status der Stilllegung, Statistiken)
- Human Resource Development for Decommissioning (Personalkapazitäten)
- DACCORD (Kostenschätzung Forschungsreaktoren)
- GRAPA (Umgang mit bestrahltem Graphit)

Für 2022 und die folgenden Jahre gibt es weitere Ideen für Projekte mit folgenden Schwerpunkten:

- Using eTools for Competence Building on D&ER
- Application of Circular Economy Principles to Decommissioning Projects
- Human Resources Development for Decommissioning
- New and Emerging Technologies to Advance Decommissioning Projects
- Decommissioning Considerations for Fusion Facilities
- Ensuring Operator's Preparedness for Transition from Operation to Decommissioning

Nach Bedarf, etwa zur Initialisierung oder vor dem Abschluss, finden auch größere Technical Meetings zur jeweils übergeordneten Thematik statt. Hierzu zählen etwa die Technical Meetings zum Wissensmanagement in der Stilllegung, welche Bezug zum IDN-WIKI-Projekt haben.

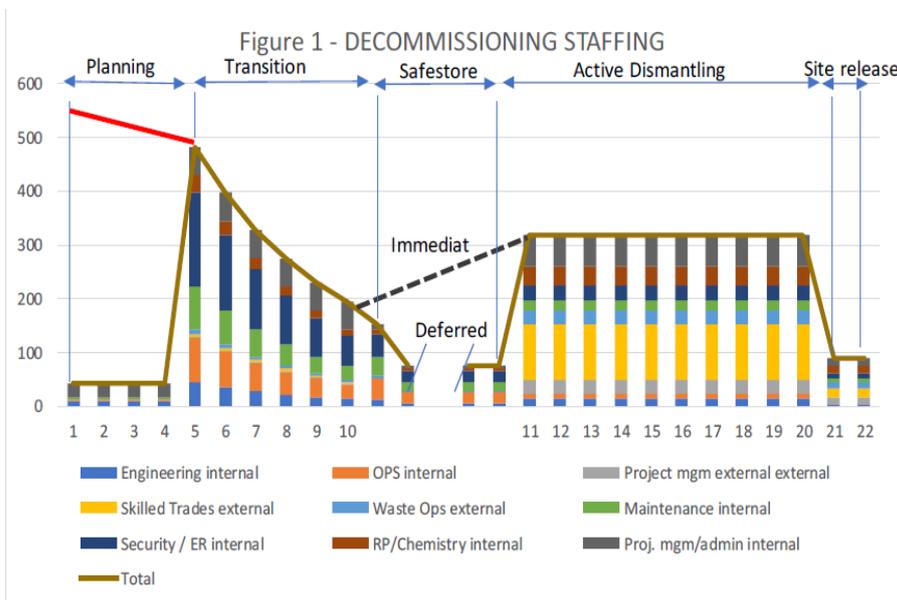
#### **4.1.1 Forum des International Decommissioning Network**

Die Treffen des IDN fanden jeweils am Jahresende 2019 und 2021 statt. Zusätzlich fanden Treffen der Steuerungsgruppe („Steering Committee“) zur Jahresmitte statt, an denen die GRS nicht beteiligt war. Die folgende Zusammenfassung der Ergebnisse bezieht sich auf das 13. und 14. Jahrestreffen bei der IAEA in Wien. Unter den Teilnehmern in der Größenordnung von 50 bis 100 Personen waren Vertreter verschiedener Nationen sowie von OECD/NEA, IAEA und Europäischer Kommission, Behörden, staatlichen Betreibern und technischen Unterstützungsorganisationen anwesend. Vereinzelt nahmen auch Vertreter von Betreiberfirmen teil.

Neben Vorträgen der genannten Akteure wurden zusätzliche Formate des Informationsaustauschs angewendet, z. B. Podiumsdiskussionen oder Arbeit in Kleingruppen und das aktive Nutzen des IDN WIKIs (2019). Diese Formate variierten von Jahr zu Jahr. Im Folgenden wird auf einzelne Beiträge mit interessanten Inhalten näher eingegangen.

#### 4.1.1.1 IDN-Jahrestreffen 2019

In einem einleitenden Vortrag wurde von IAEA-Vertretern ein Überblick über die weltweite Kernenergienutzung und Stilllegung sowie die Aktivitäten der IAEA gegeben. Ende 2019 befanden sich 449 KKW weltweit in Betrieb, 53 wurden gebaut, davon 2/3 in Asien. Dauerhaft abgeschaltet waren 177 Anlagen. Deutschland liegt dabei weltweit auf dem dritten Rang hinter den USA und dem Vereinigten Königreich. Bei nur 18 KKW wurde die Stilllegung vollständig abgeschlossen. Bei Forschungsreaktoren waren 224 in Betrieb, neun im Bau und 125 in Stilllegung. Hier wurden bereits 443 vollständig abgebaut. Das Maximum der Altersverteilung von KKW lag 2019 bei 35 Jahren. Je nach Laufzeit ist in naher bis mittlere Zukunft mit einem deutlichen Anstieg an Stilllegungsprojekten zu rechnen. Man beobachtet allerdings einen Trend zur Laufzeitverlängerung auf 60 Jahre, so dass die bisherige Annahme von rund 40 Jahren Leistungsbetrieb für die meisten Länder nicht mehr zutrifft. Rund 100.000 Personen waren 2019 weltweit im Bereich der Stilllegung tätig, die wichtigsten Märkte sind die USA und Deutschland. Das IAEA-Projekt „Human Resource Development for Decommissioning“ hat den typischen Personalbedarf für die Stilllegung von Leichtwasserreaktoren ermittelt. Dieser ist grafisch in Abb. 4.1 dargestellt.



**Abb. 4.1** Typischer Verlauf des Personalbedarfs für die Stilllegung von Leichtwasserreaktoren /IAE 19/

Da für die Stilllegung teilweise neues Personal benötigt wird, spielt die Gewinnung und Qualifikation des Nachwuchses für kerntechnische Arbeitsfelder eine große Rolle. Dem

Thema Nachwuchsförderung wurde beim IDN-Forum eine eigene Session sowie eine Podiumsdiskussion gewidmet.

Eine Evaluation in der IAEA hatte gezeigt, dass es bislang nur wenige internationale Projekte zum Abschluss der Stilllegung gab und dass auch das Thema Stilllegung kleiner kerntechnischer Anlagen („Small Facilities“) bisher wenig beachtet wurde. Als Reaktion wurden die Projekte COMDEC sowie MIRDEC (Decommissioning Small Medical, Industrial and Research Facilities – Stilllegung von medizinischen Einrichtungen, Industrieanlagen und kleinen Forschungsreaktoren) im Jahr 2018 geschaffen. Bisher ist die Resonanz hoch und die Teilnahme relativ stabil. Besonders für Forschungsreaktoren liegen weltweit viele Erfahrungen aus abgeschlossenen Stilllegungsprojekten vor. An den COMDEC-Treffen nahm die GRS im Rahmen dieses Vorhabens regelmäßig teil. Hierzu wird auf Kap. 4.1.5 verwiesen.

Zum Thema Abbau in Anwesenheit von Brennelementen im Abklingbecken gab es eine Podiumsdiskussion. Einig waren sich die Anwesenden, dass außerhalb des Reaktorgebäudes praktisch alle Abbautätigkeiten durchgeführt werden können, die auch ohne Brennelemente erfolgen könnten. Im Beispiel der spanischen Anlage Santa María de Garoña sind nach der Abschaltung Ende 2012 rund 50 Castoren zu kaufen und zu beladen, was einen erheblichen Aufwand sowie Kostenfaktor bedeutet. Allerdings war im Jahr 2012 noch nicht endgültig geklärt, ob die Anlage doch wieder angefahren wird, so dass mit der Entladung später begonnen wurde. Auf den Abbau bis zum Abschluss des Abtransportes zu warten, wäre unwirtschaftlich gewesen, so dass vorher mit dem Abbau begonnen wurde. In Großbritannien werden stattdessen – wo möglich – noch während der Zeit des Leistungsbetriebs die Abklingbecken frühzeitig entlastet, um später lange Lade- und Transportkampagnen zu vermeiden. Man war sich außerdem einig, dass der Abbau mit Brennelementen mehr qualifiziertes Personal bindet, was Vorteile haben kann.

In einem Vortrag der australischen Firma ANSTO und der australischen Regierung wurden unterstützende Strukturen für junge Fachkräfte in der Kerntechnik vorgestellt. Ziel ist es, einen Wissenstransfer zwischen Generationen herzustellen, Netzwerke zu schaffen und mögliche Karrieren aufzuzeigen. Die Perspektive junger Menschen ist oft bezogen auf neue Technologien sowie Nachhaltigkeit und Umweltschutz. Ein Ausblick auf den internationalen „Youth Nuclear Congress“ 2020 in Australien zeigte die Intention, die Vorzüge kerntechnischer Wissenschaften und Anwendungen zu kommunizieren, eine Plattform zum aktiven Netzwerken bereitzustellen und den Wissenstransfer zwischen

Ländern und Generationen anzuregen. Vorläuferkonferenzen fanden im 2-Jahres-Turnus verteilt über die Kontinente statt, in Europa im Jahr 2014 in Spanien. Für die Organisation wurde darauf geachtet, dass die Organisatoren, die die Entscheidungen treffen, bei Geschlecht und Ausbildung ausgeglichen verteilt sind. Gerade im Bereich der Stilllegung haben viele Themen keinen direkten nuklearen Bezug oder sogar im Allgemeinen keinen Bezug zur Energieerzeugung. Häufig sind die tatsächlichen Arbeitsfelder ähnlich zu denen in anderen Industrien, was jedoch viele nicht wissen und was es deshalb zu vermitteln gilt. Eine Statistik zu Einreichungen von Artikeln in das Fachmagazin „Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science“ zeigt, dass 25 % der Artikel nicht kraftwerksbezogen sind und dass es ferner einen starken Trend zu einem künftig noch größeren Anteil solcher Artikel gibt. Über 20 % der Artikel haben außerdem Stilllegungsbezug; mit steigender Tendenz.

Um die Öffentlichkeit anzusprechen, sollen bereits etablierte Kanäle und Sprachen benutzt werden. Wer z. B. in sozialen Medien aktiv ist, sollte vor allem dort angesprochen werden. Die soziale Verantwortung der Industrie soll aufgezeigt und die zu lösenden Probleme dargestellt werden. Zur Erhöhung der Reichweite soll auch in anderen Industrien geworben werden.

Nachhaltigkeit und Umweltschutz standen im Fokus des Vortrages zweier schwedischer Vertreterinnen, die für Vattenfall vortrugen und den „höher gebildeten Nachwuchs“ repräsentierten. Für 80 % der jungen Menschen sei eine nachhaltige Lebensweise wichtig und ebenso viele glauben, dass Unternehmen eine hohe Verantwortung zur Schaffung einer nachhaltigen Gesellschaft haben. Entsprechend werde es als wichtig angesehen, dass die eigene Arbeit hierfür bedeutungsvoll ist. Eine internationale Umfrage ergab, dass der größte Treiber zur Arbeit im nuklearen Bereich die Nachhaltigkeit für die Zukunft ist, gefolgt vom Interesse für die Technologie. Nachhaltigkeit auf dem Gebiet bedeute einerseits Stromerzeugung ohne fossile Energieträger zum Schutz des Klimas und andererseits die sichere Stilllegung von kerntechnischen Anlagen, um zu zeigen, dass ihr kompletter Lebenszyklus berücksichtigt wird.

Unter Nutzung internetfähiger Mobilgeräte wurden während der Präsentation zwei Umfragen unter den Teilnehmern durchgeführt, deren Ergebnisse unmittelbar in den Präsentationsfolien erschienen. Durch die Interaktivität wurde hier ein neuer Vortragsstil mit moderner Technologie demonstriert.

In der anschließenden Diskussion wurde der Punkt der Nachhaltigkeit (auch) aus Sicht weiter Teile der deutschen Bevölkerung durch den Vertreter des BfE (jetzt BASE) angebracht und bemerkt, dass die Erzeugung nuklearer Abfälle ohne vorhandene Entsorgungsziele als nicht nachhaltig empfunden werde. Die Antwort war, dass es möglich sei, einen geschlossenen Wertstoffkreislauf zu schaffen und hierfür nur der politische Wille nötig sei.

Bei der Podiumsdiskussion zu diesem Thema wurden die jungen Teilnehmer nach ihrem Antrieb für ein Engagement im nuklearen Sektor gefragt. Genannt wurden Passion, Interesse an der Technologie, Herausforderungen sowie „höhere Ziele“, wörtlich sogar „die Rettung der Welt“.

### **Fazit**

Das IDN-Jahrestreffen 2019 bot einen guten Überblick über die eigenen Projekte der IAEA sowie über sonstige stilllegungsrelevante Projekte und zeigte deren jeweiligen Stand bzw. deren Ergebnisse. Weiterhin informierten die Ländervertreter über den Fortschritt ausgewählter Stilllegungsprojekte in ihren Ländern. Insgesamt hatten die Vorträge eine hohe Qualität und Informationsdichte. Die Vortragsfolien sind erstmals auf einer WIKI-Seite des IDN dargestellt und darüber abrufbar. Dadurch wird offenbar, dass die IDN-Projekte auch wechselseitig voneinander profitieren können und tatsächlichen Nutzen bringen. Da die Länderbeteiligung recht europäisch geprägt war, konnte das gebotene Gesamtbild nicht repräsentativ für alle IAEA-Mitgliedsländer sein. Die große Beteiligung aus Deutschland wird der Bedeutung der Stilllegung hierzulande gerecht. Die drei Podiumsdiskussionen waren ein geeignetes Format, um die Diskussionen insgesamt unter den Teilnehmern anzuregen.

#### **4.1.1.2 IDN Jahrestreffen 2021**

Das IDN-Jahrestreffen fand im Jahr 2021 erstmals als Hybridveranstaltung vom 13. bis 15. Dezember in Wien und online statt. Persönlich bei der IAEA anwesend waren ca. 20 Personen; IAEA-Personal eingeschlossen. Rund 85 Personen nahmen insgesamt teil. Die Onlineteilnehmerzahl schwankte zwischen 40 und 50 Personen. Die Veranstaltung war in mehrere thematische Sitzungen unterteilt, außerdem fand am Ende des ersten Tages eine Podiumsdiskussion statt.

Einleitend wurden die aktuellen IAEA-Aktivitäten und die vielfältigen bereits existierenden Netzwerke im Bereich der Stilllegung vorgestellt.

Insgesamt gab es die folgenden thematischen Sessions:

- Berichte von internationalen Kollaborationsprojekten zur Stilllegung
- Status und Fortschritt in nationalen Stilllegungsprogrammen
- Junge Fachleute in der Stilllegung (thematisch: Einsatz neuer Technologien)
- Neueste technische Innovationen, die Stilllegungsprojekte unterstützen können
- Verbesserung der Wissensteilung in der Stilllegung
- Pflege und Wartung während des Sicheren Einschlusses

Die GRS trug innerhalb der Session 5 über das Stilllegungs-WIKI und seine Anwendung vor.

Zunächst wurde über die aktuellen Aktivitäten der IAEA berichtet. Verschiedene IAEA Safety Standards werden derzeit aktualisiert oder deren Aktualisierung startet in Kürze. Dies betrifft die Safety Guides RS-G-1.7 von 2004 (Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance) und WS-G-5.1 von 2006 (Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices). Der Guide RS-G-1.7 wird aufgeteilt in zwei Bände zu den Themen Freigrenzen und Freigabe. Ende 2021 sollte noch der Bericht der DACCORD-Arbeitsgruppe veröffentlicht werden. Die Arbeitsgruppe befasste sich mit der Kostenabschätzung insbesondere für die Stilllegung von Forschungsreaktoren. Es wurden Kurse und E-Learning-Tools vorgestellt, die aus dem IDN heraus initiiert bzw. geschaffen wurden. Es wurde darauf hingewiesen, dass diese Kurse in verschiedenen Sprachen angeboten werden. Ferner wurden wichtige Projekte vorgestellt, in denen die GRS in diesem und anderen Vorhaben beteiligt ist (COMDEC, MIRDEC, Global Status of Decommissioning und das IDN-WIKI bzw. Wissensmanagement-bezogene Veranstaltungen). Ein neues (weiteres) Projekt zur Stilllegung von Reaktoren mit Graphit ist geplant. Im Jahr 2022 soll in der Slowakei ein Workshop zur Stilllegung von WWER-Reaktoren stattfinden. Außerdem finden in den Jahren 2022 und 2023 ARTEMIS-Missionen in Litauen und Deutschland statt. In 2023 wird eine große IAEA-Konferenz zur Stilllegung stattfinden. Ein vollständig neuer Guide über die Stilllegung von Uranproduktionsanlagen wird erstellt. Dieses Thema wurde als derzeit noch bestehende Lücke identifiziert, die damit geschlossen werden soll.

Ein Vertreter der OECD/NEA berichtete über dessen aktuelle Aktivitäten und stellte die acht ständigen Komitees, sowie aktuelle Arbeitsgruppen vor. In den relevanten Arbeitsgruppen ist die GRS über dieses und andere Vorhaben vertreten, so dass hierauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird. Der ursprünglich für Juli 2020 geplante OECD/NEA-Workshop in Murmansk mit dem Thema komplexe Anlagen („complex sites“) wurde nun auf den 12. bis 14. Juli 2022 ebenfalls in Murmansk verschoben. Im Herbst 2022 finden ferner NEA-Workshops zum Thema Stilllegungs-Taxonomie sowie zum Thema Stakeholder-Involvement statt.

Ein Vertreter von SOGIN, Italien berichtete über den Status des Share-Projektes (EU-Projekt). Hierbei geht es um eine Stakeholder-basierte Analyse des Forschungsbedarfs für die Stilllegung. Um die Bedarfe zu ermitteln, wurde eine Umfrage durchgeführt. Für alle Stakeholder ergab sich, dass vor allem Abfälle und die (radiologische) Charakterisierung als interessant und wichtig angesehen werden, sowohl mit als auch ohne Gewichtung der Prioritäten. Danach folgt auf Platz 3 die Robotik ohne Gewichtung, bzw. Ausbildung mit Gewichtung. Interessanterweise wird Innovation im Allgemeinen als weniger wichtig für die Stilllegung empfunden.

Indonesien (Bapeten) und Rumänien berichteten über ihre Stilllegungsprojekte für Triga-Forschungsreaktoren. Beide Reaktoren befinden sich derzeit im Betrieb und die Stilllegung ist für die Zukunft geplant. Für die rumänische Anlage wurde der erste Stilllegungsplan im Jahr 2005 übermittelt und dieser wird alle fünf Jahre aktualisiert. Die erste Phase der Stilllegung soll 2035 bis 2037 ablaufen, die zweite von 2037 bis 2047. Die Phase 3, die vor allem die Freigabe der Anlage betrifft, soll im Jahr 2050 enden. Derzeit wird mit Stilllegungskosten von 76 Mio. € gerechnet, ohne Entsorgungskosten aber inklusive Kosten für die Zwischenlagerung. Nach dem Vortrag kommentierte ein Vertreter der IAEA, dass die angesetzten Zwischenlagerkosten ausgesprochen hoch erscheinen und den größten Einzelanteil ausmachen. Eine Frage aus dem Plenum bezog sich auf den Kernbrennstoff und dessen Beschaffung für den weiteren Betrieb. Dieser werde [zum Zeitpunkt des Vortrags, Anmerkung des Autors] nämlich nicht mehr hergestellt. Der Betreiber wird den Kernbrennstoff gegebenenfalls selbst herstellen, da dieser ohnehin ein spezieller Typ ist. Zurzeit ist jedoch noch ausreichend Kernbrennstoff bis 2035 vorhanden. Die indonesische Triga-Anlage wurde noch im Jahr 2000 in der Leistung gesteigert. Wegen technischer Probleme (Blasenbildung) fand von 2011 bis 2017 kein Betrieb statt. Erst danach und aus dem konkreten Grund wurde dem Betreiber die Option der Stillle-

gung eingeräumt. Eine Laufzeitverlängerung ist jedoch ebenfalls möglich. Die Entscheidung liegt beim Betreiber; die Behörde Bapeten hat darauf keinen Einfluss. Einen technischen Einfluss auf künftige Entscheidungen hat hierbei dagegen der Mangel an Kernbrennstoff, der nicht mehr produziert werde. Die Option, diesen selbst herzustellen, habe man aber im Blick.

In Indien werden derzeit Kapazitäten an KKW ausgebaut (33 im Bau, 10 weitere bereits genehmigt). Das Thema Stilllegung sei relativ neu für das Land, aber die Stilllegung müsse bereits bei der Bauplanung berücksichtigt werden, was sich beispielsweise auch auf die Materialwahl auswirke. Zunächst muss ein konzeptioneller Stilllegungsplan vorgelegt werden. Dieser wird während der Betriebsphase regelmäßig aktualisiert. Es wird behördlich gefordert, dass die Brennelemente eine hohe Zuverlässigkeit besitzen, damit Kontaminationen durch BE-Defekte, die die Stilllegung erschweren, vermieden werden können. Der konzeptionelle Stilllegungsplan ist Teil des Berichts zum Sicherheitsgutachten, der u. a. folgende Bestandteile enthält:

- Bauliche Vorkehrungen für die spätere Stilllegung
- Stilllegungsstrategie
- Abfallmanagement
- Notfallschutzmaßnahmen
- Angaben zur radiologischen Sicherheit

In Indien sind üblicherweise viele Reaktoren zu Mehrblockanlagen vereint. Auch dies ist in der Stilllegungsplanung zu berücksichtigen.

Ein Vertreter berichtete über den Status der Stilllegung in Schweden. Schweden hat beschlossen, schrittweise aus der Kernenergienutzung auszusteigen. Derzeit sind sechs schwedische KKW-Anlagen in Stilllegung, sowie eine Uranproduktionsanlage, die im Jahr 2009 außer Betrieb ging. Ein Materialforschungsreaktor in Studsvik wurde im Jahr 2005 abgeschaltet. Dessen Stilllegung ist bereits weit fortgeschritten und für Komponenten abgeschlossen. Der Schwerwasserreaktor Agesta ist seit 1974 abgeschaltet, und auch dessen Abbau ist fortgeschritten. Im Jahr 2022 soll der Reaktordruckbehälter demontiert werden und bis 2024 sollen alle wesentlichen Komponenten ausgebaut sein. Der direkte Abbau ist in Schweden vorgeschrieben. Brennelemente und Steuerstäbe werden 18 bis 24 Monate nach der Abschaltung ins CLAB (Zwischenlager) gebracht. Im

Allgemein erfolgt der Abbau von innen nach außen, also von hochkontaminiert und -aktiviert zu weniger/gar nicht kontaminiert. Für die Abfallentsorgung liegen konkrete Pläne für Endlager vor. Ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle existiert bereits und wird genutzt. Der Betreiber Uniper, zu dem die Anlagen Barsebäck und Oskarshamn gehören, verfolgen eine (Unternehmens-)Stilllegungsstrategie, die vorsieht, gut geschultes Abbaupersonal von einer Anlage zur nächsten mitzunehmen, so dass die Blöcke eher nacheinander bzw. zeitversetzt als gleichzeitig abgebaut werden.

In Session 4 ging es um neue Technologien für die Stilllegung. Dabei ging es vielfach um den Einsatz von 3D- und BIM-Modellen („Building Information Management“) für die Planung sowie um Robotik zur Charakterisierung oder Dekontamination, wie auch bei anderen Veranstaltungen. Abweichend dazu regte ein Vertreter von EDF eine generelle Änderung der Denkweise bei der Stilllegung an. Aus seiner Sicht ließen sich Probleme mit der Abfallentsorgung erheblich verringern und zudem Kosten senken und gleichzeitig die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöhen, wenn KKW nicht nach 30 bis 60 Jahren Betrieb 25 Jahre lang abgebaut würden, sondern stattdessen die Anlage zehn Jahre lang modernisiert würde, einschließlich eines RDB-Austauschs, und erneut für 60 Jahre in den Betrieb ginge. Dies ließe sich mehrmals wiederholen und es fielen erheblich weniger Stilllegungsabfälle an, da die meisten Teile weitergenutzt werden können. Die Vorgehensweise werde in anderen Industrien auch angewendet.

Die von der Universität Köln vorgestellte AMS-Methode (Beschleuniger-Massenspektrometrie) für die Stilllegung schien für die meisten bisher unbekannt gewesen zu sein. Vorteil ist, dass Atome und nicht Zerfälle gezählt werden, so dass sehr geringe Konzentrationen gemessen werden können (Größenordnung  $10^{-12}$ ). Eine Frage aus dem Plenum war, wie teuer so ein Gerät sei und wie mobil es ist. Es handelt sich bei dem vorgestellten Aufbau um eine ortsfeste Anlage im Wert mehrerer Millionen €. Kompaktere Beschleuniger für ca. 2 Mio. € wären aber denkbar. Der Kostenfaktor und die eingeschränkte Mobilität stellen einen kommerziellen Einsatz durchaus infrage.

In einer generellen Zusammenfassung dieses Themas kommentierte eine IAEA-Vertreterin, dass für neue Technologien stets eine Kosten-Nutzen-Analyse angebracht sei, um zu evaluieren, ob eine neue Technologie überhaupt einen messbaren Nutzen bringt. Sie führte Beispiele von der havarierten Anlage in Tschernobyl an, für deren erste Aufräumarbeiten Roboter entworfen und gebaut wurden. Diese sind an der Realität geschei-

tert, weil sie sich in unbekanntem Terrain bewegen mussten und jeweils nur für bestimmte Teilanwendungen und dann nur sehr kurz nutzbar waren, da sie die hohe Strahlenexposition nicht aushielten.

In Session 5, in welcher auch das GRS Stilllegungs-WIKI vorgestellt wurde, ging es um die Verbesserung der Wissensvermittlung (sharing) für die Stilllegung. Von der britischen Nuclear Decommissioning Authority (NDA) trug ein Vertreter über die Stilllegungsstrategie für Magnox-Reaktoren vor. Diese wurden in verschiedenen Ausführungen mit Beginn vor etwa 70 Jahren gebaut. Ursprünglich dienten sie zur Plutoniumproduktion und als Demonstrationsobjekte. Erst Anlagen ab den 1990er Jahren sind so gebaut worden, dass sie sich leichter stilllegen lassen, bis dahin war dies im Anlagendesign nicht vorgesehen. Die neueste Magnox-Anlage befindet sich in Wales. Grundsätzlich sind für Magnox-Anlagen verschiedene Umsetzungen eines direkten oder verzögerten Abbaus denkbar und letztere werden auch praktiziert. Insgesamt nennt der Vertreter sieben verschiedene Varianten. Die Varianten der Verzögerung unterscheiden sich durch die Intensität der zwischenzeitlichen geplanten Interventionen. Durch eine längere Verzögerungsphase, die Care & Maintenance (C&M) genannt wird, erhofft(e) man sich, durch die Abklingzeit mehr manuelle Abbautätigkeiten zu ermöglichen und die Abfallmengen zu reduzieren. Ohnehin erlaube die Abfallentsorgungsstruktur des Landes keinen früheren Abbau. Bereits bekannte Risiken der Verzögerung sind allgemeiner Wissensverlust, die Degradation der Gebäudestrukturen und Veränderungen in den gesellschaftlichen Erwartungen. Im Jahr 2018 fand man heraus, dass in einigen Magnox-Anlagen die gemessenen ODL bis zu drei Größenordnungen kleiner waren als zuvor modelliert worden war. Es ist daher riskant, allein auf Basis dieser Modelle die Strategie festzulegen. Die Anlage Bradwell, die bereits länger im C&M-Zustand ist, zeige, dass Anlagen dieses Typs nicht für lange Abbauverzögerungen gemacht sind. Es wird geschlussfolgert, dass man letztlich eine Mischung aus verschiedenen Strategien einsetzen wird, aber derzeit wieder zu kürzeren Verzögerungen und mehr direktem Abbau tendiert.

### **Podiumsdiskussion**

Bei der Podiumsdiskussion stand das Thema der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie auf die Stilllegung im Fokus. Aus Spanien wurde berichtet, dass dort nach Verhängung des ersten Lockdowns am 14. März 2020 zwei Tage später zunächst sämtliche Arbeiten gestoppt wurden. Im Mai 2020 lag dann ein Neustartplan vor, der ab der ersten Juniwoche Anwendung fand. So wurde mit reduzierter Anwesenheit des Personals weitergearbeitet, die Telearbeit, wo möglich, eingeführt (etwa für Qualitätssicherung) und die auch

hierzulande üblichen Hygienemaßnahmen eingeführt. Insgesamt ist das spanische Stilllegungsprojekt um drei Monate im Verzug, was allerdings überwiegend auf weltweite Lieferengpässe zugeführt wurde. Die Zahl der Ausfälle wegen Krankheit und Quarantänen ist insgesamt unterdurchschnittlich. Die Impfquote bei den Beschäftigten liegt bei 91,4 % und damit etwas höher als bei der Bevölkerung über 12 Jahren in Spanien (89,4 %), (Stand: Dezember 2021).

Vertreter der IAEA beschrieben ihre Lehren aus der Vielzahl an Videokonferenzen. So sei durch fehlenden Augenkontakt keine Kommunikation möglich, bei der man ein Gespür für Reaktionen der Zuhörer bekommt. Manche Onlineteilnehmer arbeiten nebenher etwas anderes weiter oder verlassen die Sitzungen und kehren zurück. Ein weiterer Schwachpunkt der Onlineformate sind die fehlenden Besichtigungen von Anlagen in Stilllegung. Hingegen kämen Berichte mitunter besser voran, wenn online gemeinsam daran gearbeitet wird.

Ein Vertreter von EDF in Frankreich berichtete, dass bei der großen Zahl von 160.000 Beschäftigten im Konzern auch Corona-Todesfälle und Langzeiterkrankungen zu beklagen sind. Um die Kompetenzen zu erhalten, hat EDF auch Zulieferbetriebe weiterbezahlt, obwohl sie keine Arbeit leisten konnten. Allerdings führt langfristig eine Bezahlung ohne Gegenleistung zu neuen Problemen. Eine weitere Erkenntnis ist, dass Personalausfälle durch Digitalisierung zu begegnen, nicht immer hilfreich sei, denn auch für die jeweils neuen Technologien braucht es schließlich Experten.

Aus der Slowakei wurde angemerkt, dass dort die ersten beiden Coronawellen nur zu einer Woche Ausstand geführt haben und es praktisch keine Verzögerungen dadurch gab. Man hat erkannt, dass das höchste Infektionsrisiko beim Sicherheitspersonal liegt. Dort und auf anderen wichtigen Positionen hat man begonnen, redundante Besetzungen einzuführen.

In Kanada spürt man die Covid-19-Pandemie überwiegend in Form von Lieferengpässen in der Versorgungskette. Ein Großteil des Personals, bei dem das möglich ist, ist nach wie vor in Telearbeit beschäftigt.

## **Schlussfolgerung**

Das IDN-Forum, das hybrid stattfand, bot, wie in der Vergangenheit, eine große Zahl an Vorträgen aus Sicht der nominierten Ländervertreter. Der Teilnehmerkreis war aus Vertretern von Behörden, Organisationen, TSOs, Forschungseinrichtungen und (weniger) von Betreibern zusammengesetzt. Da die meisten Teilnehmer virtuell anwesend waren, war ein persönlicher Austausch nur begrenzt möglich. Dennoch wurden Diskussionen durch entsprechende Freiräume in der Agenda und durch Moderation angeregt. Durch vertretene Organisationen, wie OECD/NEA und IAEA und EU, wurde ein guter Überblick zur Orientierung über internationale Stilllegungsprojekte vermittelt.

### **4.1.2 IDN WIKI Workshop for Moderators (2019)**

Aus dem IDN heraus wurde im Jahr das semantische IDN Decommissioning WIKI initiiert. Für den Aufbau und die Pflege wurden seither in mehreren Treffen, die bis 2019 zweimal jährlich stattfanden, Workshops ausgerichtet. Das WIKI soll eine Plattform für die Teilnehmer sein, um Informationen und praktische Erfahrungen miteinander auszutauschen und gleichzeitig die technischen Hürden hierfür klein zu halten. Die Ausführung des WIKIs mit semantischen Funktionen eröffnet die Möglichkeiten der automatisierten Erstellung von Tabellen, Dashboards und Diagrammen, um die eingepflegten Informationen leicht auszuwerten und darzustellen. Im Gegensatz zum einfachen Erstellen von Artikeln mit Tabellen und Abbildungen (wie bei Berichten zum Druck), ist die semantische Notation komplexer und weniger leicht zugänglich. Zur Überwindung dieser Hürden wurden und werden Formulare erstellt, die auch Laien den Zugang erleichtern. Allerdings müssen die Formulare dem Bedarf angepasst sein, so dass dieser iterativ zu ermitteln ist.

Um den Bedarf abzuschätzen und eine sinnvolle technische und inhaltliche Struktur in das gesamte WIKI zu bringen, ist es daher erforderlich, mit Hilfe von WIKI-Moderatoren die Strukturierung zu organisieren. Die Aufgaben der sogenannten WIKI-Moderatoren haben sich im Laufe der einzelnen Treffen in der Zielstellung verändert.

Während der ersten Workshops für WIKI-Moderatoren wurden Personen darin geschult, wie mit dem WIKI technisch umzugehen ist und welche strukturellen Elemente die IAEA vorgibt. Anschließend sollten die Moderatoren selbst Artikel erstellen, wobei zunächst nur wenige Vorgaben gemacht wurden. Der Schwerpunkt wurde auf Fallstudien in der

Stilllegung gelegt. Außerdem wurde unter den Moderatoren beraten, welche Bemessungsgrundlage zur Bewertung von Artikeln Dritter angelegt werden soll bzw. wie ein entsprechender Workflow zur Qualitätssicherung gestaltet werden kann. Es wurde hierzu ein dreistufiges „Maturity Level“ eingeführt. Die niedrigste Kategorie bildet der „Author draft“, also der Erstentwurf des Autors, welcher noch von keinem Moderator gelesen wurde. Die zweite Kategorie ist der „Community draft“ nach Qualitätssicherung durch WIKI-Moderatoren. Sogenannte „Trusted Article“ wurden auch von IAEA-Sekretären qualitätsgesichert und stellen die höchste Kategorie dar.

Nach einer Unterbrechung von 1,5 Jahren, beteiligte sich die GRS ab 2019 wieder an der WIKI-Moderation. Beim entsprechenden Workshop im Oktober 2019 wurden die Aufgaben der Moderatoren neu zugeordnet und thematisch eingeeengt, da bislang jedem Moderator sehr viele Themenfelder zugeordnet waren. Der Schwerpunkt wurde auf die Erhöhung der Artikelqualität gelegt sowie auf Konsistenzprüfung und -schaffung mit den offiziellen IAEA-Dokumenten. Die GRS hat sich den Themen „Chemische Dekontamination“, „Strahlenschutz“ und „Sicherheitsmanagement“ zugeordnet. Im weiteren Verlauf wurde die Zuständigkeit auf die letzten beiden Punkte reduziert.

Ab Februar 2019 wurde an der Umsetzung der sogenannten One-WIKI-Struktur gearbeitet. Gemeint ist damit eine einheitliche Ontologie, die Abfragen und Auswertungen erlaubt, bzw. stark vereinfacht. Hierfür wurden Kategorien eingeführt und Artikel diesen zugeordnet, wie etwa Technologien, Anwendungsfelder, Materialien, Fallbeispiele, Methoden oder Einrichtungen. Unter Verwendung der Ontologie können Daten aus der zugrunde liegenden Datenbank erhoben und ausgewertet werden. Im Zuge der Überarbeitung wurden bis Oktober 2019 zahlreiche Artikel gelöscht, weil sie (fast) keinen Inhalt hatten. Rund 40 % (nach Anzahl) der Artikel wurden entfernt.

Grundsätzlich ist das IDN-WIKI für alle Sprachen offen, der Anteil an nicht-englischen Artikeln ist allerdings sehr gering. Im Fall der Erstellung von nicht-englischen Artikeln soll ein Artikelkern auf Englisch verfasst werden, der Metadaten und ein Abstract umfasst. Es wurde die Planung vorgestellt, dass es künftig zwei Versionen des WIKIs geben soll, eine geschlossene Version, für Connect-Mitglieder (wie bisher) und eine öffentliche, nur lesbare Version. In die öffentliche Version sollen nur Artikel mit hoher und geprüfter Qualität gelangen.

Schwächen einer Seite, beispielsweise fehlende Links, Duplikate, dünner Inhalt, falsche Kategoriezuordnung und Nominierung zur Löschung, können durch entsprechende Marker (Tags) gekennzeichnet werden.

Um die (englische) Sprache zu vereinheitlichen wurde eine Seite mit bisher 300 Synonymen geschaffen, die den jeweiligen Standard und davon abweichende Varianten zeigen.

Das WIKI des IDN soll in den nächsten Jahren zu einem WIKI der IAEA werden und im öffentlichen Bereich die Adresse [nuclearWIKI.iaea.org](http://nuclearWIKI.iaea.org) erhalten. Für die Umstellung muss für jeden Artikel geprüft werden, ob ein impliziter, aber nicht genannter Stilllegungsbezug vorliegt und die Wortwahl ggfs. angepasst werden. Das öffentliche und das nicht-öffentliche WIKI werden auf jeweils eigenen Servern installiert sein. Zum Vorhabensende ist noch keine öffentliche Version des WIKIs verfügbar.

In einem Vortrag der Firma Gesinn.IT wurden die Verbesserungen vorgestellt, die mit einem Upgrade der MediaWIKI-Version auf die Version 2019 (statt wie zuvor 2013) einher gingen. Die neue Version bietet folgende Verbesserungen:

- Bessere Anpassung an mobile Endgeräte (Handys); bessere Skalierung der Inhalte
- Editoren auch in Formularfeldern, d. h. Formatierungen sind auch in Formularen möglich
- Tabellen werden auch bei der Bearbeitung sichtbar und haben Felder, in die man springen kann
- Die Zuordnung von Personen zur Revision von Inhalten (Person bekommt eine E-Mail als Benachrichtigung)
- Eine verbesserte Kommentarfunktion für das Review, direkte Kommentare werden möglich
- Die Zuweisung von Rollen zu Personen
- Mehrere Sprachversionen einer Seite, sofern hinterlegt; eine Automatisierung mittels Google Translate oder DeepL wäre möglich
- Eine Ikonografie, die durch einfache Symbole die Art des Inhalts auf den ersten Blick anzeigt

# Safety management

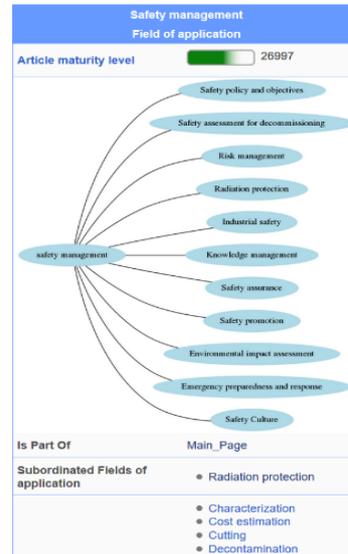
Special:Badtitle > Special:Search > Safety management

## Inhaltsverzeichnis [Verbergen]

- 1 Introduction
- 2 Definitions
- 3 Objectives
- 4 Integrated Management System
- 5 Aspects of safety management
  - 5.1 Safety policy and objectives
  - 5.2 Safety assessment for decommissioning
  - 5.3 Risk management
  - 5.4 Radiation protection
  - 5.5 Industrial safety
  - 5.6 Knowledge management
  - 5.7 Safety assurance
  - 5.8 Safety promotion
  - 5.9 Environmental impact assessment
  - 5.10 Emergency preparedness and response
  - 5.11 Safety Culture
- 6 Case studies referring to Safety management
- 7 Technologies applicable to Safety management
- 8 Methods applicable to Safety management
- 9 References

## 1 Introduction [Bearbeiten] | Quelltext bearbeiten]

- There are many definitions and understandings of safety management. Most of them see that it designed to manage safety elements in the workplace. It includes policy, objectives, plans, procedures, organization, responsibilities, finance, communication and other measures.
- Safety management during decommissioning is dealing with both radiological and non-



**Abb. 4.2** Hauptseite „Safety management“ im IDN-WIKI /IAE 20A/

Es wurden drei Arbeitsgruppen gebildet. Die GRS arbeitete in der Arbeitsgruppe mit, die den Artikel „Safety management“ (siehe Abb. 4.2) verbessern sollte. Der Artikel wurde mit Informationen aus IAEA-Guides befüllt. Für tiefere Informationen werden die IAEA-Guides selbst verlinkt (PDF-Dateien).

## Fazit

Das IDN-WIKI innerhalb der Connect-Plattform der IAEA stellt ein modernes und interaktives Medium zum Austausch von Wissen und Erfahrungen im Bereich der Stilllegung kerntechnischer Anlagen dar. Im Zuge des „Reviews“ von Artikeln in der Funktion als WIKI-Moderator, kann direkt von den dargelegten Fallbeispielen profitiert werden oder man kann durch eigene Beiträge eigene Erfahrungen mit internationalen Teilnehmern teilen.

Veranstaltungen der IAEA zum Wissensmanagement integrieren nun gewissermaßen die designierten WIKI-Workshops. Sie bilden ein übergeordnetes Nachfolgeformat für die WIKI-Workshops, können sie aber nicht ersetzen. Ob es künftig wieder designierte WIKI-Veranstaltungen geben wird, ist unklar.

#### **4.1.3 Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence Building and Knowledge Management for Decommissioning (2020)**

Vom 8. bis 11. Dezember 2020 fand das „Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence Building and Knowledge Management for Decommissioning“ der IAEA als rein virtuelle Veranstaltung über eine Videoplattform statt. Die Veranstaltung fasste die zuvor als Präsenzveranstaltungen geplanten Treffen zum Wissensmanagement und zum IAEA Nuclear WIKI (vormals IDN WIKI) zusammen. In der Teilnehmerliste waren 59 Personen gelistet. In den verschiedenen Sessions variierte die tatsächliche Teilnehmerzahl im Bereich von 30 bis 40. Das Technical Meeting gliederte sich in vier Sessions mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten und Vorträgen im Plenum, sowie in einer Session, welche als Gruppenarbeit ausgeführt wurde. Zur Gruppenarbeit wurden virtuelle Klebezettel („Post-Its“) als eine Art Brainstorming von allen Teilnehmern geklebt. Eine zielgerichtete Moderation fand nicht statt, dennoch gab es Ergebnisse. Diskussionen unter den Gruppenteilnehmern fanden, anders als bei Präsenzveranstaltungen, überhaupt nicht statt. Damit wurden die Nachteile eines solchen Formats, zumindest bei unzureichender Moderation, sehr deutlich. Die Sessions trugen die folgenden Titel /IAE 20/:

1. Activities of International Organizations to Promote Knowledge Sharing in Decommissioning
2. Facilitating Inter-Operability of Knowledge Management Systems
3. Promoting Innovation and Competence Development for Decommissioning
4. National approaches to capturing and sharing knowledge from ongoing decommissioning projects

Der Beitrag der GRS zum GRS-Stillegung-WIKI /SCH 20/ war in Session 4 verortet.

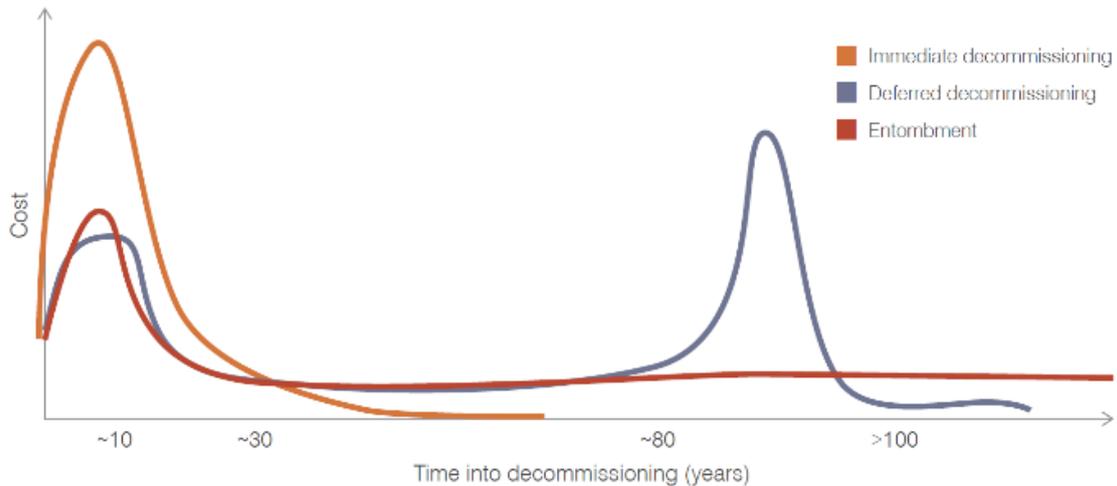
Die Gruppenarbeit erfolgte in den folgenden drei Gruppen, die die Themen der Vortragsessions wieder aufnahmen und auch mit den entsprechenden Personen besetzt waren:

- A) Feedback on standardized structure for organization of decommissioning knowledge/promoting knowledge sharing in decommissioning and facilitating inter-operability of systems at the international level
- B) Promoting innovation and competence development for decommissioning, including leveraging the activities of Collaborating Centres

### C) National approaches to capturing and sharing knowledge from ongoing decommissioning projects

Im Folgenden wird auf einige interessante und relevante Vorträge näher eingegangen.

Im Vortrag der IAEA wurden zwei Ebenen entstehenden Wissens im Verlauf des gesamten Lebenszyklus einer kerntechnischen Anlage aufgezeigt. Einerseits über den organisatorischen Lebenszyklus, der den Entwurf, den Bau, Betrieb sowie Veränderungen bis zum Ende der Stilllegung miteinschließt, und andererseits auf der Ebene der Arbeitskräfte, mit Einstellung, Übung, Weiterbildung, Erfahrungsaufbau bis zum Ruhestand. Die zu betrachtende Gesamtdauer kann dabei 100 Jahre und mehr betragen. Im Lauf der Zeit gibt es zahlreiche Veränderungen am Markt, beim Betreiber, bei gesetzlichen Vorgaben, auf dem Arbeitsmarkt und im technologischen Fortschritt, besonders in der Informationstechnik. Entsprechend muss Wissen die Phasen überdauern und transferiert werden. Ein Wissensverlust ist besonders beim Übergang von einer zur nächsten Phase wahrscheinlich. Besonders implizites Wissen (z. B. individuelle Erfahrungen) ist schwer zu speichern und weiterzugeben. Ein Risiko für den Wissenserhalt stellt auch Outsourcing dar. Die IAEA stellte eine generalisierte Methode zur Risikobewertung des Wissensverlustes vor. Der Wissensverlust-Risikofaktor enthält verschiedene Kriterien (Faktoren): Relevanz und Wichtigkeit, Kodifizierungsfaktor, Transferfaktor, Positions-Ersetzungsfaktor und Abgang/Ruhestands-Risikofaktor. Für jedes „Wissens-Teilgebiet“ wird jeder dieser Faktoren bestimmt und erhält eine Punktzahl. Bei der Relevanz liegt der Wert zwischen 1 (wenig wichtiges Wissen) und 10 (essenzielles Wissen). Beim Kodifizierungsfaktor wird ein Wert zwischen 1 und 5 angegeben. Er beschreibt, wie gut ein Wissensbestandteil dokumentiert und auffindbar ist. Genauso wird bei den übrigen Faktoren vorgegangen und schließlich werden alle Faktoren multipliziert. Am Ende erhält man eine Gesamt-Risiko-Punktzahl, die erlauben soll, zu bewerten, wie weiter vorgegangen wird (> 1000 → hohes Risiko: sofortige Aktion nötig; 100 – 1000 → formaler Wissenserhaltungsplan nötig; < 100 → keine besondere Handlung nötig).



**Abb. 4.3** Einfluss der Strategie auf die Kosten /IAE 20/

Ein Vertreter der World Nuclear Association berichtete über effizientes Materialmanagement und Abfälle in der Stilllegung. Die gewählte Strategie hat nicht nur Einfluss auf die Kosten (siehe Abb. 4.3), sondern auch auf die notwendige Größe und das Timing eines Endlagers, auf die Wartung und Instandhaltung der Anlage, das notwendige Wissensmanagement und auf das Sicherungsmanagement. Jeder Strategie lassen sich Kosten-, Risiko- und regulatorische Faktoren zuordnen. Als negative Faktoren des direkten Abbaus werden hohe Abbaukosten wegen des hohen radioaktiven Inventars und höhere radiologische Risiken bei Abbau und Abfallbehandlung aufgeführt. Alles andere steht auf der Habenseite, insbesondere was das Wissensmanagement und Unsicherheiten bzgl. künftiger regulatorischer Veränderungen angeht. Umgekehrt verbleiben als die wenigen Vorteile des verzögerten Abbaus: weniger radioaktive Abfälle, potenziell niedrigere Kosten und niedrigere radiologische Risiken bei Abbau und Abfallbehandlung. Die Liste der Nachteile dieser Strategie ist lang und folgt letztlich aus der längeren Dauer über mehrere Generationen. An den Beispielen Frankreich, Schweden und Deutschland wurden die Einflüsse der Regulierung auf das zu erwartende Abfallaufkommen beim Kernkraftwerkabbau veranschaulicht. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind dabei Freigabewerte und Entsorgungskosten sowie die Verfügbarkeit von Endlagern. Während in Frankreich etwa 20 % der Masse eines DWR als Abfall zu entsorgen sind, beträgt dieser Anteil bei einem schwedischen SWR nur 5 % und in einem deutschen SWR gar nur 2 %. Je höher der Freigabeanteil ist, umso höher steigen allerdings die Kosten, da die entsprechende Sortierung Aufwand bedeutet. Der Kostenanstieg verläuft in einer Darstellung im Vortrag ab 80 % exponentiell. Insgesamt wird geschlussfolgert, dass eine ordnungsgemäß er-

fasste und gut gepflegte Bestandsaufnahme entscheidend sei. Zeitmanagement, Trennung, Räumung/Recycling und Volumenreduzierung seien Schlüsselparameter für ein erfolgreiches Stilllegungsprojekt.

Ein Vertreter von iUS trug über das Pleiades-Projekt der Europäischen Union vor. An diesem Projekt sind zahlreiche private und öffentliche Unternehmen beteiligt, die auf verschiedenen Ebenen mit der Stilllegung kerntechnischer Anlagen befasst sind. Alle verwenden unterschiedliche Software-Tools, Datenbanken und 3D-Modelle, etwa zur 3D-Visualisierung, radiologischen Visualisierung, zur Stilllegungsplanung, Abfallabschätzung oder Kostenschätzung. F. Borrmann stellte die Idee vor, alle Software-Komponenten mit derselben Ontologie zu versehen und damit ein Netzwerk aus Netzwerken zu generieren. Dies könnte erhebliche Synergieeffekte bringen und doppelte Arbeiten vermeiden. Dazu brauche es eine gemeinsame Plattform (unter dem Pleiades-Dach) mit einer definierten Datenschnittstelle. So könnte es beispielsweise möglich werden, aus einem WIKI-Artikel heraus ein 3D-Modell aufzurufen, welches seinerseits einen Link zu damit verknüpften Aktivitätsinformationen bietet. Über das Pleiades-Projekt wird in diesem Abschlussbericht auch an anderen Stellen, jeweils aus unterschiedlichen Perspektiven, berichtet (siehe Kap. 3.2.3).

Ein Vertreter von EDF berichtete über die Beteiligung der Firma an französischen und internationalen Stilllegungsprojekten. Ein Schwerpunkt war dabei der Abbau von graphitmoderierten, gasgekühlten Anlagen. Anlagen dieses Typs haben eine 5- bis 20-fache Masse im Vergleich zu DWR-Anlagen. Auch in der Abmessung übersteigen die gasgekühlten Reaktoren DWR deutlich. Dies führt zu einer größeren Komplexität beim Abbau. Bevor der Reaktor Chinon A2 in Frankreich abgebaut werden soll, wird ein industrieller Demonstrator gebaut und betrieben, um fernbediente Werkzeuge für den Reaktorabbau zu qualifizieren. Das Gebäude wird 25 m hoch, 50 m lang und 30 m breit sein und soll ab 2022 betrieben werden. Physische Tests sollen von digitalen Modellen begleitet werden. Mit Hilfe der Tests soll die Abbaureihenfolge optimiert und insgesamt die Sicherheit erhöht werden.

Bei der Gruppenarbeit am letzten Tag der Veranstaltung waren drei Gruppen aufgefordert, ein sogenanntes „Mural“ zu bearbeiten. Es wurden keine konkreten Vorgaben zum Inhalt gemacht. Auch die sechs Kategorien waren zunächst frei und wurden erst im Verlauf benannt. Vorgegeben war lediglich die Farbgebung der Zettel nach den Stichworten „wie“, „was“ und „gesucht“ („wanted“). Das Ergebnis von Gruppe C ist in Abb. 4.4 dargestellt. Die Gruppen stellten abschließend ihre Ergebnisse in kurzen Präsentationen vor.



#### **4.1.4 Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence Building and Knowledge Management, including Role of IAEA Collaborating Centres (2021)**

Das „Technical Meeting Advancing Collaboration on competence building and knowledge management, including role of IAEA collaborating centers“ der IAEA stellt eine Fortsetzung der Reihe von Veranstaltungen zum Thema Wissensmanagement in der Stilllegung kerntechnischer Anlagen dar. Schwerpunkte waren diesmal die Themen BIM und Digitalisierung in der Stilllegung mit Blick auf die Ausbildung und Lehre für die Stilllegung.

Das Technical Meeting wurde als Hybridveranstaltung durchgeführt. Persönlich anwesend waren rund 20 Personen, etwas mehr waren online vertreten. Ort der Veranstaltung war das Besucherzentrum des KKW Caorso in Piacenza, Italien und, im Rahmen einer Führung, auch Teile der in Stilllegung befindlichen Anlage selbst.

Bei der halbtägigen Anlagenbesichtigung wurde der Reaktor selbst ausgespart. Gezeigt wurde das Außengelände und das Maschinenhaus (innen), welches zur Reststoffbehandlung und -konditionierung verwendet wird.

Im Rahmen von Gruppenarbeiten wurden sogenannte Murals erstellt. Dies sind virtuelle Plakate oder Tafeln, an denen virtuelle „Post-its“ angebracht werden können. Es wurden zwei Gruppen gebildet, wobei sich eine Gruppe mit BIM und die andere mit (der Digitalisierung der) Ausbildung für die Stilllegung befasste. Dem persönlichen Austausch wurde z. B. durch Pausen viel Raum gegeben, was die Kommunikation förderte.

Im Folgenden werden interessante Erkenntnisse aus Vorträgen und Gruppenarbeiten, sowie der Anlagenbesichtigung aufgegriffen und beschrieben.

Zur Einführung wurde das KKW Caorso, dessen Besucherzentrum den Veranstaltungsort bildete, durch den staatlichen Betreiber und Stilllegungsverantwortlichen Sogin, näher vorgestellt. Caorso ist das größte von insgesamt vier KKW in Italien. Sogin ist nicht nur für die Stilllegung der KKW zuständig, sondern auch für das Abfallmanagement. Die Anlage war von 1981 bis 1987 im Leistungsbetrieb und hatte eine elektrische Leistung von 860 MW. Ab 2001 fanden bereits vorbereitenden Abbaumaßnahmen statt (vor Erteilung der Stilllegungsgenehmigung). Diese umfassten Teile des Primärkreises, die Tur-

binen, Kühltürme und Hilfsanlagen. Ab 2015 (mit Stilllegungsgenehmigung) fand ein Umbau des Turbinengebäudes zum Zwischenlager mit Konditionierungseinrichtungen statt. Ein neues, externes Zwischenlager auf dem Anlagengelände befindet sich im Bau und soll von 2022 bis 2031 betrieben werden. Ab 2022 soll der Abbau des Reaktordruckbehälters und seiner Einbauten und weiterer Teile des Primärkreises angegangen werden. Nach derzeitiger Planung soll 2037 der Zustand der grünen Wiese erreicht werden. Welche Kriterien für diesen Zustand genau herangezogen werden, wurde nicht gesagt.

Ein Vertreter vom Joint Research Center Ispra berichtete über 3D-Informationen-Management-Systeme (3DIMS) für das eigene Stilllegungsprogramm. In Ispra stehen zwei Reaktoren, davon ein Leistungsreaktor und ein Forschungsreaktor, sowie drei Labore und zwei Abfallbehandlungszentren. Für deren Stilllegung wurde der Bedarf nach einem flexiblen Tool erkannt, welches möglichst früh zum Einsatz gebracht werden soll. Es beinhaltet u. a. 3D-Laserscanning und zur schnellen Übersicht zur Entscheidungsfindung ein 3DIMS-Dashboard mit allen wichtigen Informationen auf einen Blick. Für die Scans wurden sowohl stationäre als auch mobile Laserscanner eingesetzt. Durch Tags an Gegenständen ließ sich bereits vieles automatisieren. Wird ein Tag gescannt, führt ein Link zu Informationen zur Anlagencharakterisierung aus dem Archiv. Ein sogenannter Cloudviewer ermöglicht die Betrachtung und das Heranzoomen von gescannten Räumen samt Fotografien. Die zugrundeliegende Software kann auch per Sprache gesteuert werden. Interaktionen zwischen verschiedenen Benutzern im virtuellen Raum sind ebenfalls möglich.

Ein Vertreter des norwegischen IFE stellte die Aktivitäten der Halden Technology Organisation (HTO) vor. HTO ist der neue Name des ehemaligen HRP (Halden Reactor Project). Das Projekt bildet einen Stilllegungscluster für alle kerntechnischen Anlagen in Norwegen mit verschiedenen Unterprojekten. Das Unterprojekt Norsus (für Nachhaltigkeit) soll der Innovation und dem Kompetenzaufbau dienen. Hierzu wurde ein Trainings- und ein Ausbildungszentrum gegründet sowie ein sogenannter Inkubator für Firmen (ein Gründungszentrum). Für den Kompetenzaufbau von Personal in der Kerntechnik wurde ein Curriculum erstellt, das zur Harmonisierung bei Training und Ausbildung dienlich sein soll. Dieses soll auch international genutzt werden können, sei aber für viele Länder nicht passend. Norwegen verfügt über keine KKW, sondern nur über Forschungsreaktoren und -einrichtungen sowie Anlagen der Ver- und Entsorgung. Allgemeines Ziel ist es, einen ganzheitlichen Ansatz zu finden, der ein agiles Management einsetzt. Das heißt, das Management muss auch kurzfristig auf aktuelle/neueste Informationen reagieren

können. Hinsichtlich der Digitalisierung der Stilllegung seien einige Trends zu beobachten: BIM-Systeme werden häufiger auch in Sicherheitsanalysen und für die Robotik integriert. Es gebe außerdem einen Trend zu modularen und konfigurierbaren Lösungen, anstatt ein mächtiges Werkzeug für (fast) alles bereitzustellen. Die IFE-eigene Software-Suite bietet jegliche Komponenten, die für die Stilllegung benötigt werden könnten, z. B. zur Arbeitsplanung, zur Kostenberechnung, für Sicherheitsdemonstrationen und einen Konverter von und nach internationalen Systemen, wie die Pleiades-Ontologie des Horizon 2020-Projekts.

In der Podiumsdiskussion wurde u. a. über neue Abbaumethoden diskutiert. Ein angeführter Punkt war, dass gerne auf bewährten Methoden beharrt wird und damit Innovationen verhindert würden, weil für den Betreiber bzw. Antragssteller ein finanzielles Risiko besteht, wenn ein neu entwickeltes Verfahren von Behörden abgelehnt wird. Das Risiko bestehe aber nicht, wenn zuvor klar dargelegt werden kann, dass die neue Methode funktionieren wird. Ein Vertreter vom EPRI, USA, führte an, dass Innovationen aus marktwirtschaftlichen Gründen in der Industrie nicht ohne Treiber aufkommen. Erst wenn ein konkretes Problem besteht, werden dafür spezifische Lösungen entwickelt und vermarktet. Ein allgemein verbreitetes Problem ist die Entstehung von Insellösungen. Sie erschweren eine Standardisierung und damit eine internationale Vermarktung. Ein Teilaspekt kann dabei schon die Sprache sein. Es sei aber absehbar, dass automatische In-situ-Übersetzungen praktisch überall verfügbar werden und zumindest dieses Problem bald überwunden sein könnte.

Ein Vertreter aus der Slowakei stellte mit der Anlage V1 ein Beispiel zur praktischen Anwendung von 3D-Modellen zur Unterstützung des Abbaus vor. Verantwortlich für die Stilllegung und das Abfallmanagement ist seit 2006 das staatliche Unternehmen Javys. Die Stilllegung der beiden WWER 440-230-Reaktoren begann im Jahr 2011. Seitdem wurde ein Abbaufortschritt von 48 % erreicht. Es wurde nicht erwähnt, wie diese Zahl berechnet wurde. Ein 3D-Modell der Anlage bzw. von Teilen, existiert schon seit 1993 (in der Phase des Leistungsbetriebs). Es wird seither stetig weiterentwickelt. Die im Modell berücksichtigten Materialien sind Beton und Stahl. Das Modell findet Anwendung in der allgemeinen Stilllegungsplanung, der Planung von Schnitten und der Abbaufolge. Auch die Verpackung von segmentierten Anlagenteilen wird damit möglichst effizient geplant. Der Schnitt mittels Kreisportalsäge und der Transport von Großkomponenten innerhalb der Anlage werden damit geplant und visualisiert. Die Visualisierung helfe auch, der interessierten Öffentlichkeit die Abbaupläne zu verdeutlichen.

Ein Vertreter von der Florida University berichtete über die radiologische Charakterisierung und den Einsatz von 3D-Modellen in Gebäuden des Hanford-Anlagen-Komplexes. In einem Gebäude ist 2008 das Dach eingebrochen. Für Sicherungsmaßnahmen ist eine Analyse erforderlich, für die automatisierte Systeme mit Robotern eingesetzt werden. Es werden verschiedene Robotersysteme entwickelt, fliegende, beräderte und solche mit Ketten, um die verschiedenen Raumbereiche erreichen zu können. In einem Prototypreaktor der Anlage finden zudem Inspektionen von Behältern mit Hilfe von Robotern statt. Aufgrund ihrer Größe sind diese in der Lage, Risse in Behälterwänden sichtbar zu machen, welche ansonsten von außen nicht erkennbar sind, weil sie sich beispielsweise auf die Rückseite hinbewegen können.

Neben Naturwissenschaftlern und Ingenieuren waren auch zwei Psychologinnen der Ruhr-Universität Bochum unter den Vortragenden. Sie berichteten über eine Bedarfsanalyse für Trainingsziele zur Kompetenzentwicklung von Managern und Angestellten für die Stilllegung. Ziel ist die Erstellung einer Lernplattform für die Stilllegung, die vor allem benutzerzentriert sein soll. Das heißt, dass individuelle Lernpfade ermöglicht werden sollen, anstatt ein Standardlernmaterial für verschiedene Gruppen anzubieten. Es soll dabei einen einzelnen Eintrittspunkt geben, das System selbst findet anschließend den optimalen Lernpfad. Für das Training soll VR, besonders aber Augmented Reality (AR) zum Einsatz kommen, da letztere am besten für das Wissensmanagement geeignet seien. AR sei sehr anthropomorph und es biete ein soziales Miteinander sowie das Gefühl etwas zusammen zu machen. Die Arbeiten der Psychologie finden in Zusammenarbeit mit PreussenElektra und der Simulatorschule Essen statt.

Neben den Vorträgen und der Podiumsdiskussion fand eine halbtägige Anlagenbesichtigung statt, die sich allerdings nur auf das Maschinenhaus der SWR-Anlage (Kontrollbereich), sowie die Außenbereiche erstreckte. Im Maschinenhaus findet derzeit die Konditionierung von Reststoffen statt. Dabei befinden sich in den oberen Stockwerken die Zerlegeeinheiten. Im unteren Gebäudebereich findet die Kompaktierung von Fässern statt. Teile des Maschinenhauses dienen auch als Zwischenlager. Ein neues, eigenständiges Zwischenlager befindet sich derzeit im Bau. Insgesamt ist recht wenig Personal vor Ort und mit Abbautätigkeiten beschäftigt. Der Eindruck passt zu dem geringen Stilllegungsfortschritt der Gesamtanlage, wenn man den langen Zeitraum bedenkt, seitdem die Anlage endgültig abgeschaltet ist.

Neben den Vorträgen und der Anlagenbesichtigung fanden Gruppenarbeiten statt. Die GRS beteiligte sich an der Erstellung von sogenannten Murals zum Thema BIM. Dazu

wurden jeweils Chancen und Risiken für verschiedene Akteure beleuchtet, wobei der Grad der Umsetzung (Detailgrad eines Modells) dagegengehalten wurde. Es wurde (in der BIM-Gruppe) in Einzelarbeit an einem gemeinsamen Produkt gearbeitet, wobei kein Austausch untereinander stattfand. Die meisten Teilnehmer nahmen online teil. Diese Form der Gruppenarbeit profitierte nicht von der Teilpräsenz der Teilnehmer. In der zweiten Arbeitsgruppe wurde hingegen viel diskutiert, trotz gleicher Voraussetzungen. Es zeigte sich, dass eine gute Moderation für virtuelle und hybride Formate besonders wichtig ist, um einen Erfahrungsaustausch anzuregen.

## **Fazit**

Das Technical Meeting zum Wissensmanagement, das Ende 2021 als Hybridveranstaltung durchgeführt wurde, bildet eine Art Brücke zwischen der Pandemiezeit und der Nach-Covid-Ära. Durch die konsequente Durchführung mit Hilfe digitaler Werkzeuge, konnten möglichst viele Personen an Diskussionen und Präsentationen teilnehmen. Allerdings waren sowohl die Mural-Software als auch die Videokonferenz-Software für die Onlineteilnahme von Einzelpersonen gemacht. So mussten Fragen aus dem Plenum meist für Onlineteilnehmer wiederholt werden. Möglicherweise werden hybride Formate künftig weiter Bestand haben. Hierfür wären darauf besser angepasste Tools hilfreich, um den Austausch zu verbessern.

### **4.1.5 International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC)**

#### **Überblick**

Derzeit wird eine Vielzahl von Stilllegungsprojekten in den IAEA-Mitgliedsstaaten durchgeführt, die sich ihrem Abschluss nähern. Die Erfahrungen in Bezug auf die Endphase der Stilllegung, einschließlich der Definition für die Begriffe Endzustand, Standortsanierung nach der Stilllegung und Demontagemaßnahmen, Strahlungsberwachung, Vorbereitung und Vorlage der abschließenden Stilllegungsdokumentation bei der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde, das Gutachten der Aufsichtsbehörde und die formale Entscheidung über die Entlassung des Standortes aus der Überwachung sowie die Definition der behördlichen Kontrolle im Falle von Nutzungseinschränkungen sind immer noch sehr begrenzt. Benötigt wird eine Plattform für die Diskussion, den Wissens- und Erfahrungsaustausch sowie die Weitergabe von bewährter Praxiserfahrung.

Die IAEA hat eine solche internationale Plattform („community of practice“) durch die Initiierung des Internationalen Projektes zur Beendigung der Stilllegung (International

Project on Completion of Decommissioning, COMDEC) geschaffen. Das Projekt COMDEC, das von den zwei Abteilungen der IAEA „Departments of Nuclear Safety and Security, NSRW“ und der Abteilung „Departments of Nuclear Energy, NEFW“ ins Leben gerufen wurde, hat sein erstes Technisches Meeting im September 2018 im Hauptsitz der IAEA durchgeführt.

Das Projekt ist auf den Endzustand nach dem Abbau von Strukturen, Systemen und Komponenten am Standort, die demontiert worden sind, ausgerichtet. Es zielt hauptsächlich ab auf die Gebäude und Standortgelände der Anlagen, deren Stilllegung unter normalen Bedingungen erfolgt ist, d. h. Anlagen nach einem Unfall werden nicht betrachtet. Das Sanierungsverfahren außerhalb des Geländes (off-site remediation) ist grundsätzlich nicht im Aufgabenspektrum des Projektes enthalten. Es werden verschiedene Endzustände betrachtet, angefangen von der Entlassung des Standortes ohne Nutzungseinschränkungen bis hin zu Standortzuständen, die unter behördliche Kontrolle gestellt werden müssen. Der Endzustand beschränkt sich nicht nur auf die Oberflächenkontamination, sondern kann auch unterhalb der Oberfläche bestehende Kontaminationen beinhalten. Das Projekt bezieht sich auch auf den Inhalt sowie die Dauer der behördlichen Tätigkeiten bis zur Entlassung einer Anlage oder von Anlagenteilen aus der atomrechtlichen Überwachung bzw. die verschiedenen Formen der behördlichen Kontrolle einer beschränkten Standortfreigabe.

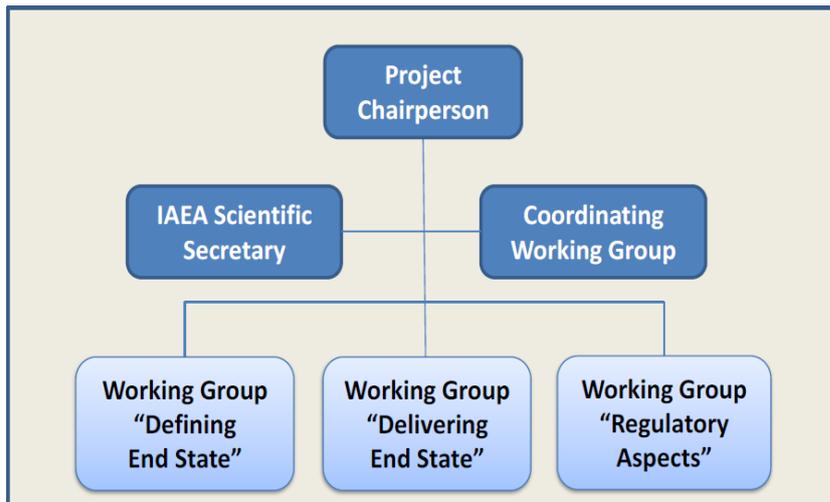
Zielsetzung des COMDEC-Projektes ist es, einen systematischen Überblick über die weltweiten Erfahrungen zu geben. Dabei sollen die IAEA-Mitgliedsstaaten bei ihren Aktivitäten hinsichtlich der Beendigung des Stilllegungsprozesses, der Standortfreigabe und der Einführung der behördlichen Kontrolle unterstützt werden. Der Projektbericht wird auch Informationen für die bevorstehende Revision des IAEA Safety Guide WS-G-5.1 „Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices“ liefern. Mit Ende dieses Vorhabens ist der COMDEC-Abschlussbericht noch nicht vollständig erstellt. Mit einer Finalisierung wird derzeit Ende 2022 gerechnet.

Die Arbeit im COMDEC-Projekt ist in folgende drei Arbeitsgruppen organisiert:

- WG 1 – Definition des Endzustandes der Stilllegung (Definition of decommissioning end state)
- WG 2 – Fertigstellung des Endzustandes (Delivering the end state)

- WG 3 – Regulatorische Aspekte, einschließlich Standortfreigabe und behördliche Überwachung (Regulatory aspects, including release of sites and institutional controls)

Es wurde eine Koordinations-Arbeitsgruppe (CWG) zur Abstimmung des Projektes eingerichtet. Zu dieser Gruppe gehören der Vorsitzende des Projektes, die Projektleiter und stellvertretenden Projektleiter der einzelnen Arbeitsgruppen und der wissenschaftliche Sekretär der IAEA. Die Projektstruktur ist in Abb. 4.5 illustriert.



**Abb. 4.5** COMDEC-Projektstruktur

### **Ablauf und Ergebnisse der COMDEC-Treffen**

Da sich die einzelnen Arbeitstreffen im Ablauf ähneln, werden diese zusammenfassend dargestellt. Das Projekt wird begleitet durch jährlich stattfindende Meetings (einschließlich Plenartagungen und Sitzungen der Arbeitsgruppen). Als Erweiterung soll sich die CWG-Gruppe darüber hinaus separat von den Jahres- und Arbeitsgruppenmeetings zusammenfinden.

Die COMDEC-Meetings wurden von Anfang an im Rahmen des Vorläufervorhabens besucht und gestaltet. Zwischenergebnisse sind im entsprechenden Abschlussbericht /SCH 19/ sowie in Reiseberichten (z. B. /IMI 20/) nachzulesen. Die GRS ist in Arbeitsgruppe 3 zu regulatorischen Aspekten des Stilllegungsabschlusses vertreten. Bei den größeren Technical Meetings nehmen insgesamt rund 40 Personen aus ca. 20 Ländern teil (Stand: 2019).

Die Meetings werden mit einer einleitenden Präsentation zum COMDEC-Projekt sowie zum Arbeitsbereich, Struktur und Gegenstand des Projektes durch den Projektleiter eröffnet. Dieser stellte u. a. den Arbeitsplan (Work Plan) vor.

Der Fokus des „Working Group Meetings“ liegt auf der Sammlung und dem Austausch von Informationen über Praktiken und Erfahrungen in Bezug auf die Endphase der Stilllegung, vor allem die Herbeiführung des Endzustandes sowie regulatorische Aspekte zur Erreichung des Endzustandes. Bei jedem Plenartreffen ist vorgesehen, dass die Ergebnisse der bisherigen Arbeit und Diskussionen aus den Gruppen dem Plenum vorgestellt und nach einer Diskussion die nächsten Schritte für die zukünftige Arbeit festgelegt werden. Bei den Arbeitsgruppentreffen finden Arbeiten am Berichtstext und Diskussionen darüber vor allem in den Arbeitsgruppen statt. Neue Beiträge, die zuvor in Einzelarbeit erstellt wurden, werden in der kleineren Gruppe diskutiert und gemeinsam bearbeitet. Die Zuständigkeiten von einzelnen Gruppenmitgliedern für thematische Abschnitte wurde anfangs festgelegt, mussten aber immer wieder verändert und erneuert werden, da sich die Teilnehmer ändern.

**Tab. 4.1** COMDEC-Projektaktivitäten nach Datum

| <b>Project Activity</b>               | <b>Planned Meetings</b>  | <b>Scheduled Dates</b> |
|---------------------------------------|--|------------------------|
| Preparation of the Terms of Reference | Preparatory consultancy meeting to develop of the Terms of Reference for the project                       | 9-13 July 2018         |
| 1 <sup>st</sup> year activities       | Coordinating Working Group meeting and First Technical Meeting   | 24-28 Sept 2018        |
|                                       | Interim Coordinated Working Group meeting and Working Group meetings                                       | 12-14 June 2019        |
| 2 <sup>nd</sup> year activities       | Coordinating Working Group meeting and Second Technical Meeting  | 23-27 Sept 2019        |
|                                       | Interim Coordinated Working Group meeting, working groups meetings and site visit – Trawsfynydd, Wales, UK | June 2020 postponed    |
| 3 <sup>rd</sup> year activities       | Third Technical Meeting – virtual  | 19-23 Oct 2020         |
|                                       | Forth Technical Meeting – virtual  | 14-18 June 2021        |

| <b>Project Activity</b>         | <b>Planned Meetings</b>  | <b>Scheduled Dates</b> |
|---------------------------------|--|------------------------|
| 4 <sup>th</sup> year activities | Fifth Technical Meeting – virtual  | 4-8 Oct 2021           |
|                                 | Interim Coordinated Working Group and Working Group meetings and site visit – Trawsfynydd, Wales, UK | 20-24 June 2022        |
| 5 <sup>th</sup> year activities | Sixth Technical Meeting  | Sept-Oct 2022          |
|                                 | Submission of the project report for publication   | 2023                   |

Die gemeinsame Arbeit am Berichtstext und die diesbezüglichen Diskussionen machen einen Großteil der Zeit bei den Arbeitstreffen aus. Darüber hinaus halten einige Teilnehmer Präsentationen über die Endphase der Stilllegung und den Erfahrungsstand bezüglich ihres Staates. Insbesondere werden neue COMDEC-Mitglieder angehalten, einen Vortrag beizusteuern.

Es gab auch Präsentationen zum IDN, zum IAEA-CONNECT-System sowie zum IAEA-Projekt Definition of Environmental Remediation End States (DERES) und ihre Bedeutung für das COMDEC-Projekt.

Während der Plenarsitzungen wurde eine Reihe von Fragen diskutiert, beispielsweise zu folgende Themen:

- Funktionen und Verantwortlichkeiten (roles and responsibilities)
- Rechtfertigung und Optimierung (justification and optimisation)
- Säuberung contra Sanierung (clean-up versus remediation)

Nach der Diskussion und gemeinsamen Gesprächen wurden einige Antworten auf die zuvor gestellten Fragen gesammelt und in Form von einer Präsentation zusammengefasst.

Es fanden Diskussionen unter den Teilnehmern der einzelnen Arbeitsgruppen parallel über ihre in den Staaten gesammelten Erfahrungen zu dem jeweiligen Arbeitsgruppenthema statt. Zum Abschluss der Meetings kamen die Arbeitsgruppen wieder in der Plenarsitzung für alle Projektbeteiligten zusammen, um die Aktivitäten, Ergebnisse und die

von jeder Arbeitsgruppe geplanten Aktivitäten zusammenzufassen und darüber zu diskutieren, wie die einzelnen Arbeitsgruppen untereinander weiter zusammenarbeiten werden.

Ab 2020 fanden alle COMDEC-Treffen rein virtuell statt. Da bereits vor der Covid-19-Pandemie auch mittels Telefonkonferenzen Gruppenarbeiten abgestimmt wurden, war diese Arbeitsweise bereits vertraut. Deshalb und aufgrund der guten Moderation innerhalb der Arbeitsgruppen funktionierte die Onlinearbeit vergleichsweise gut.

### **Aktueller Stand und Arbeiten für den COMDEC-Abschlussbericht**

#### AG 1 – Festlegung des Endzustandes (Definition of decommissioning end state)

Zunächst wurden praktische Beispiele gesammelt hinsichtlich Endzustandsfestlegung und wie man einen Endzustand definieren kann. Die praktischen Beispiele wurden hinsichtlich folgender Fragestellungen analysiert:

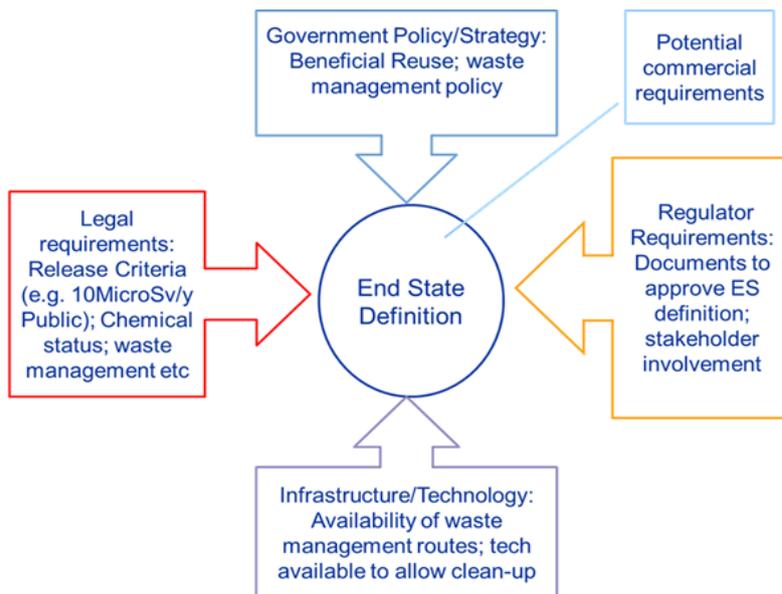
- Wie leitet man ein Endzustandsziel ab und was sind die damit verbundenen Parameter? Was soll berücksichtigt werden? Etwa radiologische Risiken, auch konventionelle Aspekte?
- Wie identifiziert man potenzielle Endzustände, welche die Zielkriterien erfüllen?
- Wie und wann soll ein Endzustand ausgewählt werden und wie kann er gerechtfertigt werden?
- Wie können Interessengruppen eingebunden werden?

Zur Beantwortung wurde ein spezifischer Fragebogen zu nationalen Erfahrungen erstellt hinsichtlich

- der Faktoren, die den Endzustand beeinflussen,
- der Berücksichtigung konventioneller Sicherheit und Umweltaspekte,
- der Evolution der Endzustandsfestlegung mit der Zeit,
- der Endzustandsfestlegungen für verschiedene Teile einer Anlage,
- der Verknüpfung zwischen Endzustandsfestlegung, Stilllegungsplan und strategischen Elementen des Abfallmanagements,
- der Teilnahme von Interessengruppen bei der Endzustandsfestlegung und

- der Berücksichtigung von Kosten bei der Endzustandsfestlegung.

Den Fragebogen beantworteten Vertreter aus Deutschland, Litauen, Schweden und Großbritannien. Die Ergebnisse wurden genutzt, um das entsprechende Kapitel damit aufzubauen. Ein Teil des Ergebnisses spiegelt sich in der Grafik aus dem Berichtsentwurf wider (siehe Abb. 4.6). Genauere Details der Antworten liegen der GRS nicht vor, da sich die GRS in Arbeitsgruppe WG 3 beteiligt.



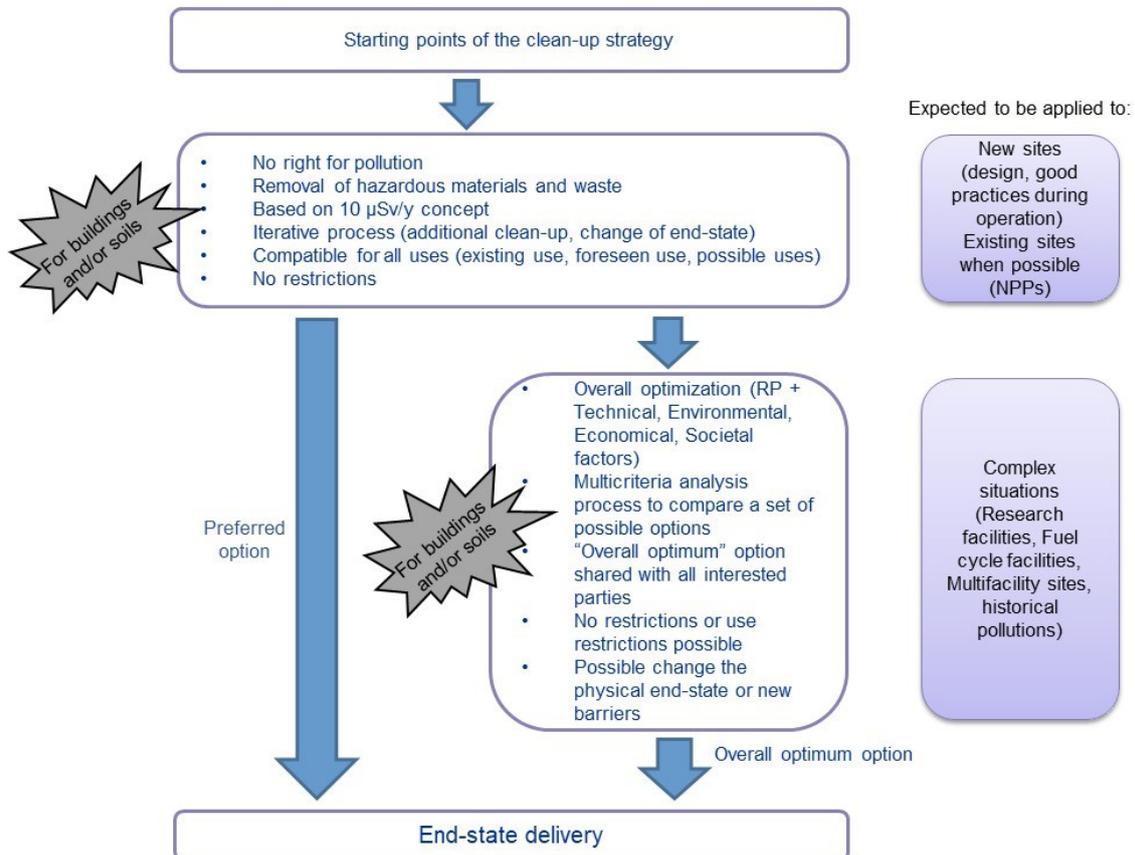
**Abb. 4.6** Externe Aspekte bei der Festlegung des Endzustandes /COM 21/

#### AG 2 - Herbeiführung des Endzustandes (Delivering the end state)

Das Kapitel der Arbeitsgruppe AG 2 wurde, anders als bei Arbeitsgruppe 1 nicht mit Hilfe einer Umfrage aufgebaut. Derzeit ist das entsprechende Kapitel in 8 Sektionen und einen Anhang mit Praxisbeispielen aus Mitgliedsländern aufgeteilt. Diese tragen aktuell die folgenden Titel:

- **Section 1:** Introduction: “delivery of the end-state”
- **Section 2:** Scope and objectives of “end state delivery”
- **Section 3:** Clean-up
- **Section 4:** Characterization
- **Section 5:** Final survey
- **Section 6:** Stakeholder

- **Section 7:** End-State delivery
- **Section 8:** Feedback for the review of WS-G 5.1
- **Appendixes:** Member states experiences



**Abb. 4.7** Schema zur Vorgehensweise bei der Herbeiführung des Endzustandes /COM 21/

Eine in der Gruppe erarbeitete Grafik zum Vorgehen bei der Herbeiführung des Endzustandes ist in Abb. 4.7 gezeigt.

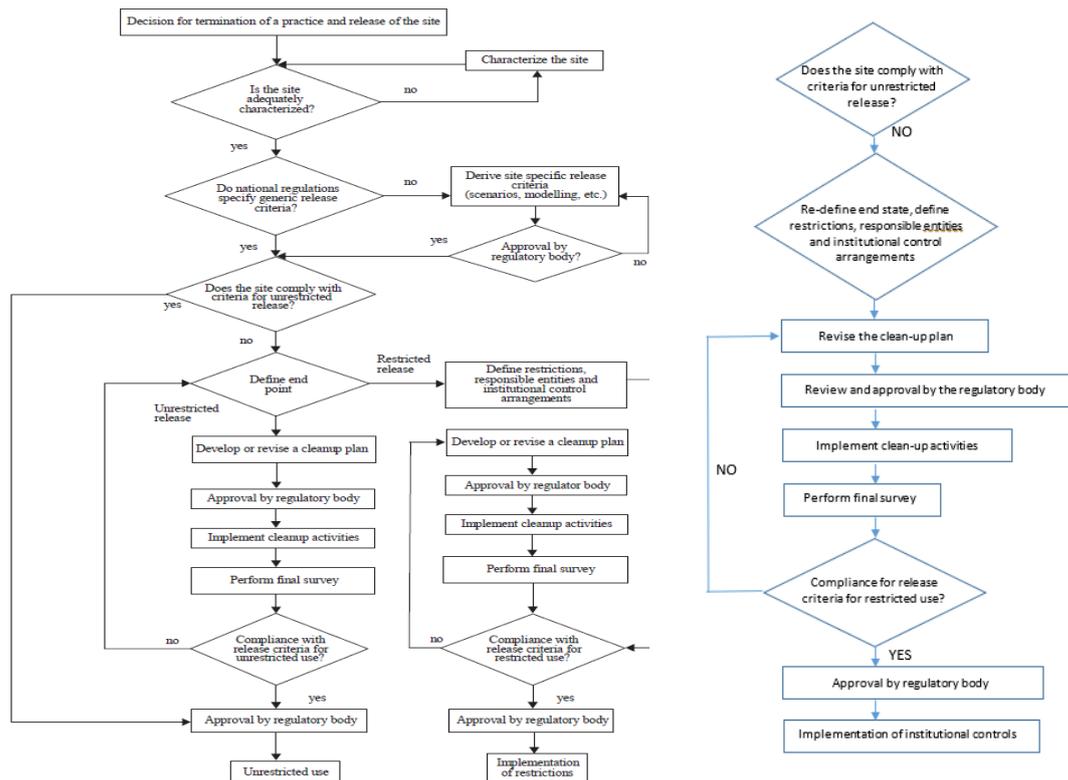
AG 3 – Regulatorische Aspekte, einschließlich Standortfreigabe und behördliche Überwachung (Regulatory aspects, including release of sites and institutional controls)

Die Projektaktivitäten der Arbeitsgruppe 3 befassten sich mit den rechtlichen und regulatorischen Aspekten des Endzustandes, einschließlich der Entlassung des Standortes aus der Überwachung.

Die Teilnehmer der Arbeitsgruppe 3 diskutierten über ihre in den Staaten gesammelten Erfahrungen zu den folgenden Themen:

- Regulatory aspects
- Establishing clean-up objectives and guidance for releasing sites from regulatory control
- Review/Approval of clean-up and waste management plans and their implementation
- Releasing the site from regulatory control
- Establishing and approving ongoing controls
- Complexities

Darüber hinaus arbeitete die AG 3 an einer vorläufigen Version des Berichts. Die Themen der oben genannten Diskussionen entsprechen dabei den einzelnen Kapiteln. Mit Hilfe einer Umfrage wurden hier u. a. verschiedene Faktoren sowie Fallbeispiele identifiziert, die den Endzustand einer kerntechnischen Anlage beschreiben. Unter Berücksichtigung des Flow Chart von IAEA Safety Guide WS-G-5.1, das den Clean-up-Prozess für die Freigabe der Standorte darstellt, entwickelte die AG 3 einen Entwurf eines neuen Diagramms zur eingeschränkten Nutzung der Standorte (siehe Abb. 4.8).



**Abb. 4.8** (links) Flusschema zum Clean-up-Prozess als Teil der Standortfreigabe (IAEA, No. WS-G-5.1); (rechts) Flusschema zum Prozess der bedingten Standortfreigabe.

Des Weiteren bestanden die Arbeiten der AG 3 darin, die neuen Informationen für die bevorstehende Überarbeitung des IAEA Safety Guide WS-G-5.1 bereitzustellen.

Ein GRS-Mitarbeiter ist in AG 3 tätig und fungiert dort als Untergruppenleiter für das Thema „Prüfung/Genehmigung von Sanierungs- und Entsorgungsplänen und deren Umsetzung“.

#### 4.1.6 IAEA Workshop Dounreay

Im Zusammenhang mit dem COMDEC-Projekt der IAEA fand vom 7. bis 11. Oktober 2019 ein Technical Meeting mit Anlagenbesichtigung in Großbritannien statt /DEW 20/. Das Technical Meeting „Achieving the Site End State: Characterisation Strategies and Instrumentation for Land Contamination“ wurde durch die IAEA in Zusammenarbeit mit Großbritannien und der Dounreay Site Restoration Ltd organisiert und fand sowohl an verschiedenen Veranstaltungsorten um das Anlagengelände Dounreay statt als auch auf dem Anlagengelände selbst. Zwei reine Vortragstage wurden im North Highland College in Thurso abgehalten. Insgesamt umfasste die Veranstaltung über 100 Fachbeiträge,

technische Sitzungen und Workshops. Die rund 50 Teilnehmenden sind aus insgesamt 26 Ländern angereist.

Thematisch war das Technical Meeting auf die folgenden Themenschwerpunkte ausgerichtet:

- Characterization pitfalls
- Information management,
- Defining contaminant baselines,
- Conceptual site model (CSM),
- Managing interfaces,
- Innovation and technology,
- Characterization of existing exposure scenarios sites

In Bezug auf diese Themenschwerpunkte hatte das Technical Meeting zum Ziel, die Fähigkeiten in den IAEA-Mitgliedsstaaten zu erhöhen, indem eine Verbesserung der Kommunikation und des Informationsaustausches sowie der Weitergabe von Erfahrungen zwischen den IAEA-Mitgliedsstaaten erreicht wird. Des Weiteren standen die Unterstützung sowie Durchführung praktischer und technischer Beratungen für die Erreichung des Endzustandes nach der Stilllegung im Vordergrund. Ferner soll durch derartige Meetings eine Übereinstimmung in Bezug auf Empfehlungen zu Richtlinien und Instrumenten erreicht werden, die der sicheren Anwendung etablierter Techniken dienen.

### **Programm des Technical Meetings**

Das Programm gliederte sich in eine Einführungs- und eine Abschluss-session, die jeweils halbtägig im Plenum abgehalten wurden. In den Technical Sessions wurden in der Regel zwei Themenstränge parallel bearbeitet. Zusätzlich wurde eine Anlagenbesichtigung durchgeführt, bei der vor Ort Beispiele für die zuvor behandelten Themenschwerpunkte gezeigt wurden. Bei den jeweils zu zweit parallel stattfindenden Workshops wurden ebenfalls verschiedene Orte besichtigt, wie z. B. die Abfalllager oder die örtlichen Strände, welche ebenfalls saniert werden.

Auf diese Weise konnten folgende Programmpunkte bearbeitet werden:

- Introduction Session
- Technical Session
  - A: Information Management
  - B: Environmental Characterisation
  - C: Instrumentation for environmental Characterisation
  - D: Defining Background and Baselines
  - I: Conceptual Site Models
  - J: Environmental Monitoring
  - K: Characterisation and remediation of existing exposure scenarios
  - L: Defining the Site End States
  - M: Innovation
- Dounreay Site tour
- Workshops (vier Arbeitsgruppen)
  - Dounreay Environmental Monitoring Programme including Monitoring of the Local Beaches
  - Characterisation and Monitoring throughout the Lifetime of the Dounreay Low-Level Waste Facility
  - In situ and Lab Instrumentation Including Approach to Characterisation of Dounreay Zone B/H
  - Characterisation and Monitoring throughout the Lifetime of the Dounreay Shaft and Silo Facilities
- Closing Session

### **Zusammenfassung ausgewählter Beiträge und Inhalte der Workshops**

Im Folgenden werden einige relevante Beiträge zusammenfassend dargestellt.

## **Workshop: Instrumentation for Environmental Characterization**

Der Workshop „Instrumentation for Environmental Characterization“ befasste sich ausschließlich mit den Eigenschaften verschiedener Messtechnik und deren Anwendungsfeldern. Die Gesamtheit der Präsentationen lieferte einen sehr guten, teils sehr detailreichen Überblick über Möglichkeiten zur radiologischen Charakterisierung von Außen- und Innenanlagen. Auch spezielle Anwendungen, z. B. für den Einsatz unter Wasser, wurden von verschiedenen IAEA-Mitgliedsstaaten vorgestellt.

Ein Schwerpunkt lag zudem auf sogenannten Geographic Information Systems (GIS), die geographische Daten mit gemessenen radiologischen Daten überlagern, um auf diese Weise Kataster von Kontaminationen erstellen zu können. Diese Systeme befinden sich in den verschiedenen IAEA-Mitgliedsstaaten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, was u. a. auch an den sehr unterschiedlichen Einsatzfeldern liegt. Während auf der einen Seite solche Systeme eingesetzt werden, um hochradioaktive Trümmer von Kernwaffentests im Gelände zu finden, nutzt man auf der anderen Seite deutlich sensitivere Instrumente, um leichte Kontaminationen und deren genaue Ausbreitung im Boden nachzuweisen.

## **Fazit**

Der Besuch des Technical Meetings in und um die Anlage in Dounreay, hat sich als äußerst informativ und vielseitig herausgestellt. Die Fachvorträge, die aufgrund der thematischen Gliederung in Technical Sessions nach Themenfeld gruppiert waren, hatten eine vergleichsweise hohe inhaltliche Tiefe. Aufgrund der Gruppierungen ergaben sich zudem viele sachbezogene Diskussionen. Die Mischung aus Fachvorträgen, Anlagenbegehung und Workshops war sehr gut geeignet, um die Inhalte hinreichend diskutieren und verinnerlichen zu können. Auf diese Weise ist es gelungen, ein Technical Meeting zu veranstalten, das weit über reine Vortragssammlungen hinaus ging und interaktiven Charakter hatte. Die Eindrücke und Praxisbeispiele, die die Anlage in Dounreay in Bezug zu den Themen Stilllegung, Anlagencharakterisierung und Endzustand nach der Stilllegung zeigen konnte, sind ein Beitrag für die Beurteilung sicherheitstechnischer Aspekte bei der Stilllegung bis zum Erreichen eines Endzustandes. Durch die Beiträge einiger IAEA-Mitgliedsstaaten in Bezug auf den Zustand bzw. Endzustand von kerntechnischen Anlagen wurde auf eindrucksvolle Weise das Spannungsfeld zwischen kerntechnischer Sicherheit bzw. Strahlenschutz und finanziellen Möglichkeiten zur Stilllegung und Behandlung von Altabfällen deutlich. Insbesondere an dieser Stelle zeigt sich auch die

Wichtigkeit des internationalen Austausches über technische Möglichkeiten und Entwicklungen.

## 4.2 Arbeitsgruppen und Workshops der OECD/NEA

Die OECD/NEA hat ihre Komitees vor Beginn dieses Vorhabens neu geordnet. Für die Initiierung und Koordinierung von Projekten der Stilllegung war bisher die Working Party on Decommissioning and Dismantling (WPDD) verantwortlich. In Folge der Umstrukturierung werden Stilllegungsprojekte im Wesentlichen über das Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM) oder – für Stilllegungsabfälle - ggfs. über das Radioactive Waste Management Committee (RWMC) initiiert.

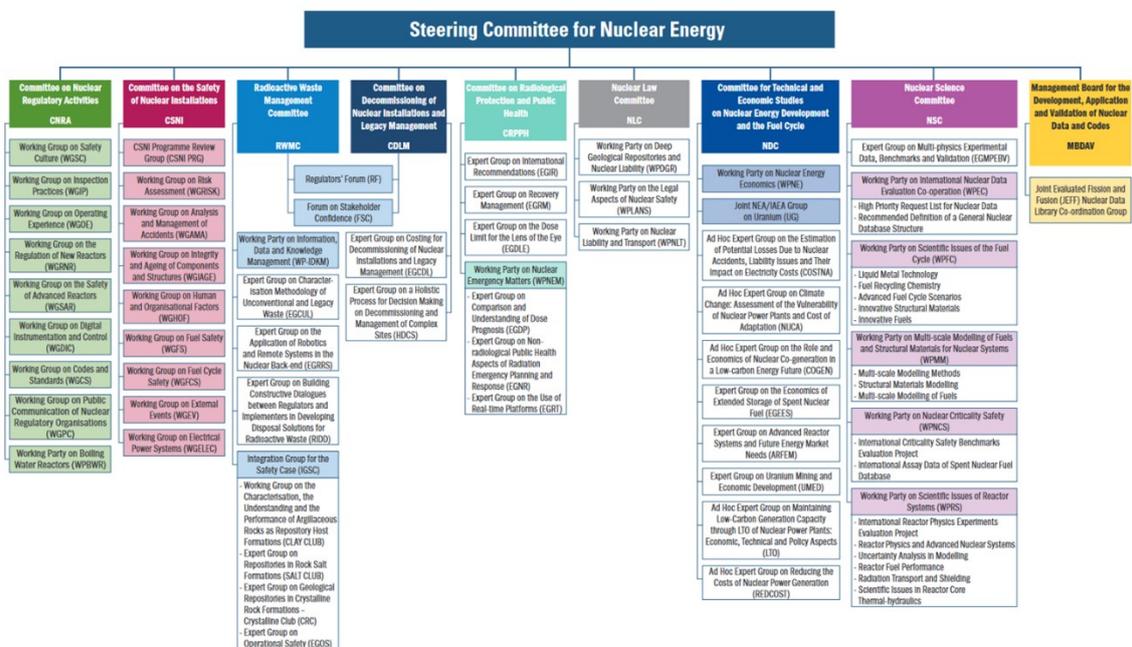


Abb. 4.9 Struktur der OECD/NEA-Komitees und untergeordneter Arbeits- und Expertengruppen /NEA 21/

Da zu Beginn des Vorhabens noch keine relevanten Arbeitsgruppen der OECD/NEA existierten, wurden zunächst NEA-Workshops in den Blick genommen.

Seit 2020/2021 ist die GRS im Rahmen dieses Vorhabens in mehreren Arbeits- und Expertengruppen involviert. Diese sind:

- Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of Decommissioning and Legacy Management (WPTES)

- Expert Group on a Holistic Process for Decision Making on Decommissioning and Management of Complex Sites (HDCS)
- Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste Management Programmes and Decommissioning (EGKM)
- Expert Group on the Application of Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-end (EGRRS)

Die EGRRS besteht schon seit 2019 und die GRS ist seit Ende 2021 involviert. Die drei übrigen genannten Gruppen wurden erst Mitte/Ende 2020/Anfang 2021 gegründet. Seit Beteiligung der GRS fanden in allen Gruppen nur rein virtuelle und kurze (1 bis 2 (halbe) Tage) Treffen statt. Folglich wurden bislang vor allem Formalitäten behandelt und Organisationsstrukturen aufgebaut. Ergebnisse liegen bisher nur begrenzt vor. Die Mitarbeit soll in einem möglichen Nachfolgevorhaben fortgesetzt werden. Im Folgenden wird die Zielsetzung der o. g. Gruppen beschrieben und, sofern vorhanden, bisherige Ergebnisse dargestellt.

#### **4.2.1 Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of Decommissioning and Legacy Management (WPTES)**

Das Kick-Off Meeting der WPTES fand am 27. und 28. Mai 2021 als Webkonferenz statt. An diesem Meeting partizipierten etwa 30 Teilnehmer. Die deutsche Delegation war mit vier Teilnehmern vertreten. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte dieses Kick-off-Meetings zusammengefasst.

Der Chair des Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management (CDLM) stellte in einem Begrüßungsvortrag fest, dass dieses Kick-Off-Meeting einen Meilenstein für CDLM darstellt und bekräftigte, dass die WPTES bei ihren Arbeiten durch das CDLM im Rahmen der Möglichkeiten unterstützt werden wird.

Im Anschluss gab es einen Überblick über die Regeln und Verfahren für die Einrichtung der WPTES sowie die dreistufige hierarchische Struktur der Komitees bzw. (Arbeits-)Gruppen. An der Spitze (Level 1) stehen die Standing Technical Committees (STC), denen die Working Parties (Level 2) und Expert Groups (Level 3) unterstellt sind.

Ein CDLM Bureau Member gab einen kurzen Überblick über die seit 1978 stattfindenden Aktivitäten im Rahmen der Stilllegung (decommissioning) innerhalb der NEA. Im Anschluss gab er einen Überblick über die Strukturen des CDLM, das im April 2018 als STC (Level 1) innerhalb der NEA etabliert wurde. Diese Strukturen umfassen auch die neu geschaffenen Working Groups wie die WPTES (Level 2) sowie weitere Expert Groups (Level 3). Der Vertreter schloss seinen Vortrag mit den vorrangigen Zielen, Ergebnissen und Meilensteinen des CDLM-Mandats, die u. a. das Dokument „CDLM Understanding of Key Issues“ und die CDLM-Matrix umfassen.

Im folgenden Vortrag berichtete ein Vertreter von RWMD, NEA von einer Sichtung bzw. Prüfung abgeschlossener und aktueller Aktivitäten und Dokumente der NEA mit thematischem Bezug zur WPTES. Die dabei identifizierten Schwerpunktgebiete, u. a. Risk Impact, Sampling, Characterization and Radiological Release sowie Waste Streams/Routes, wurden vorgestellt und den Mitgliedern der WPTES für eine nähere Betrachtung vorgeschlagen. Im Anschluss gab es von Seiten des RWMD, NEA eine kurze Zusammenfassung bezüglich einer Tagung des RWMC und des CDLM im März 2021 mit dem Titel „Management of Materials (by-products) from Decommissioning and Management of Legacy Sites, Areas of Cooperation between the CDLM and the RWMC (Other NEA Committees), Joint Initiative(s), Ways Forward.“ Des Weiteren wurde von aktuellen Aktivitäten der EGRRS berichtet.

Die folgende Plenardiskussion wurde für einen regen Austausch genutzt. Wesentliche Diskussionspunkte betrafen die Bedeutung früherer und abgeschlossener (NEA-) Aktivitäten als Basis für die Arbeiten der WPTES, den thematischen Rahmen und die unterschiedlichen Herausforderungen bei anderen Einrichtungen des nuklear Brennstoffkreislaufes (z. B. bei der Uran-Förderung und -Bearbeitung), die Bedeutung des Endzustandes für die Stilllegung, einen holistischen Ansatz hinsichtlich der Risiken und eine Beteiligung der unterschiedlichsten Interessenvertreter, die auch technische Aspekte umfasst.

Die Teilnehmer wurden in drei Gruppen (breakout groups) eingeteilt, die sich über thematische Schwerpunkte, Ideen und Prioritäten der WPTES ausgetauscht haben. Als Basis dienten die folgenden vier Fragen, die von jeder Gruppe diskutiert wurden:

- How to consider a balanced „all-hazards“ approach to maximize workers’, public and environmental safety during the decision making?

- What are the most important activities and the biggest hurdles in characterization and sampling of a facility and how could they be addressed?
- What are the technologies and practices that have been demonstrated to reduce “avoidable” waste production and improve efficiency of the decommissioning process?
- What technologies/experiences could be developed/adopted, and could they be found in other industries and what specifications are needed for these technologies to be licensed?

Der rege Austausch gestaltete sich in allen drei Gruppen als überraschend produktiv und führte zu einem breit-gefächerten Spektrum an Ideen, die auch aus unterschiedlichen Blickrichtungen thematisiert wurden. Aufgrund deren Fülle ist eine kurze Zusammenfassung nicht möglich. Im Folgenden wurden die erarbeiteten Diskussionspunkte und Ergebnisse von den Moderatoren der jeweiligen Gruppen vorgestellt. Das Sekretariat fasst die Beiträge zusammen. Diese Zusammenfassung soll auch dem WPTES Bureau als Basis für die Entwicklung des WPTES-Arbeitsprogramms dienen.

Ein OECD/NEA-Vertreter gab eine kurze Darstellung der nächsten Schritte und möglicher Termine für ein erstes Plenartreffen. Ein erstes Treffen des WPTES Bureau war für Juli 2021 vorgesehen und sollte für die Entwicklung eines Arbeitsprogramms (Entwurf) bis Oktober 2021 genutzt werden. Ein erstes Plenartreffen fand Februar 2022 als Videokonferenz statt.

#### **4.2.2 Expert Group on a Holistic Process for Decision Making on Decommissioning and Management of Complex Sites (HDCS)**

Die HDCS-Expertengruppe soll einen ganzheitlichen Prozess für die Entscheidungsfindung entwickeln und Leitlinien bereitstellen, die einen integralen Ablauf von der Erkennung bis zur Lösung für die Stilllegung und das Management komplexer Standorte als CDLM-Expertengruppe der dritten Ebene ermöglichen /NEA 22/. In der genannten Quelle werden die Ziele wie folgt beschrieben:

- 1) *„Entwicklung eines zuverlässigen, effektiven und effizienten Prozesses, der die mit der Stilllegung und dem Management komplexer Standorte verbundenen Risiken (gesellschaftlich, wirtschaftlich, ökologisch) identifiziert, bewertet, kontrolliert und verwaltet.*

2) *Entwicklung von Leitlinien und Ermittlung der erforderlichen Entscheidungen für die Umsetzung dieses Prozesses.*

*In diesem Zusammenhang soll die HDCS-Expertengruppe die folgenden Hauptaufgaben erfüllen:*

*i. Ermittlung der wichtigsten Sachzwänge, die sich auf die Beherrschung von Risiken an komplexen Standorten aus einer ganzheitlichen Perspektive [...] auswirken, und Entwicklung eines Verständnisses der wichtigsten Herausforderungen für eine Gesamtoptimierung des Risikomanagements unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren und unter Berücksichtigung der langen Zeiträume, die damit verbunden sein können;*

*ii. Erarbeitung von Empfehlungen für die Art von Informationen, die zur Unterstützung risikobasierter Entscheidungsprozesse erforderlich sind;*

*iii. Ermittlung der wissenschaftlichen, technischen und rechtlichen Grundlagen, die für die Umsetzung eines angemessenen, abgestuften und vernünftigen Konzepts für die Stilllegung, Rückholung von Abfällen und die Sanierung von Standorten erforderlich sind;*

*iv. Beschreibung des übergreifenden ganzheitlichen Prozesses als Rahmen für den Übergang von der Erkennung einer komplexen Situation an einem Standort zur Lösung aller Probleme und Entwicklung der Entscheidungen, die für seine wirksame Anwendung im Hinblick auf den angestrebten Endzustand erforderlich sein könnten. [...]"*

Im Rahmen des Vorhabens nahm die GRS Ende 2020 an einem Treffen (Kick-Off), sowie im Jahr 2021 an einem weiteren Treffen teil. Beide fanden virtuell statt. Im Folgenden werden die bisherigen Ergebnisse kurz beschrieben.

In einem kurzen Vortrag beim Kick-Off-Meeting wurden die grundlegenden Regeln und Vorgehensweisen der OECD/NEA, des CDLM und der HDCS-Expertengruppe beleuchtet. Das Mandat gilt zunächst für zwei Jahre, vom 25. Juni 2020 bis zum 30. Juni 2022.

Das erste Meeting fand am 13. Dezember 2019 mit 18 Teilnehmern aus sieben Staaten statt. Dieses One-off-Meeting war Grundlage für die Gründung dieser Expertengruppe.

Das Ergebnis dieser Sitzung waren die folgenden Forderungen:

- Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes für die Lösung komplexer Situationen in der Stilllegung
- Identifizierung von Aufgaben und die Entwicklung von Leitfäden
- Entwicklung einer Anleitung für die Charakterisierung eines Standorts
- Identifizierung der wissenschaftlichen, technischen und regulatorischen Anforderungen für einen solchen ganzheitlichen Ansatz

Hieraus resultierten die beiden Ziele der Expertengruppe:

- Entwicklung eines zuverlässigen, effektiven und effizienten Verfahrens, das die mit der Stilllegung und dem Umgang mit Hinterlassenschaften komplexer Standorte verbundenen Risiken (gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und ökologischer Art) identifiziert, bewertet, kontrolliert und managt.
- Entwicklung von Richtlinien und Ermittlung der erforderlichen Entscheidungen zur Umsetzung dieses Prozesses.

Das Mandat hat die folgenden zwei Hauptziele:

- Entwicklung eines verlässlichen, effektiven und effizienten Prozesses, um Risiken abzuschätzen (Bevölkerung, Wirtschaftlich, Umgebung) bezogen auf die Stilllegung und das Management für umfangreiche („complex“) Anlagen.
- Entwicklung eines Leitfadens für die Identifikation dieser Punkte.

Wichtige Meilensteine der Ad-hoc-Sitzung waren die Identifizierung von wichtigen Fragestellungen, die sowohl für die Stilllegung als auch für Verwaltung von radiologischen Hinterlassenschaften relevant sind:

- Radiologische, physikalische Charakterisierung der Einrichtung/des Standorts
- Charakterisierung des erzeugten Abfalls und Wissensmanagement
- Abfallverarbeitung und Annahmekriterien
- Einbeziehung von Interessenvertretern und Staatszielen
- Risiko-Management

- Bestimmung des Endzustands
- Identifizierung von finanziellen und anderen Ressourcen und anderen Einschränkungen
- Gesundheit am Arbeitsplatz und menschliche Faktoren in Gefahrenmanagement
- Verwaltung von Abfallrouten/Transporten
- Soziale und ökologische Verantwortung für zukünftige Generationen
- Personelle Ressourcen, Personalumstrukturierung von Betrieb zu Nachbetrieb
- Stabile und angemessene rechtliche/behördliche Rahmen für fallspezifische Lösungen
- Hinterlassenschaften in Verbindung mit Stilllegungsprojekte/Altlasten und Außerbetriebnahme
- Standortnutzung nach Aufräum- und Sanierungsarbeiten

Das CDLM hat außerdem eine Matrix erstellt, welche die aktuellen Aufgaben und Arbeiten gliedert und thematische Überschneidungen aufzeigt. Die Matrix wird in einem eigenen Dokument ausführlich erläutert. In der einen Achse ist sie unterteilt in „Vor-Stilllegung“, „Stilllegung“, „Nach-Stilllegung“ (Remediation) und Abfallmanagement und in der anderen Achse in „Rechtlichen Rahmen“, „Strategische Entscheidungen“, „Einflussfaktoren“ und „Aufgaben und Möglichkeiten“.

Im Anschluss an die Präsentation des Vorhabens und der Zielsetzungen wurden vier Breakout Groups gebildet (etwa je neun Personen). In diesen Gruppen soll zunächst diskutiert werden, welche Ziele innerhalb der nächsten zwei Jahre im Rahmen der Expertengruppe erreicht werden sollen und können. Hierzu galt es eine kurze Tabelle mit den Rubriken „Radiologisch“, „Industriell“, „Umwelt“, „Regulatorisch“ und „Organisatorisch“ auszufüllen. In einem zweiten Schritt wurden diese dann Prioritäten zugewiesen.

Die GRS beteiligte sich in Gruppe 2. Die Diskussion drehte sich zunächst vor allem um die Frage, ob es bereits eine Definition für „Complex“ und „Legacy“ gibt. Dies war nicht der Fall, die vorhandenen anderen relevanten Definitionen werden aber bereitgestellt.

Danach ging es um die Reihenfolge, in der die Fragestellungen zur Stilllegung und Management angegangen werden müssen. Als erstes steht hier die Identifikation der zuständigen „Person“ (Behörde, Firma etc). Danach stehen die Planung und Charakterisierung. Im Anschluss folgen das Abfallmanagement und der Endzustand.

Die Gruppen ordneten die wesentlichen Aspekte meist den gleichen Rubriken zu und auch über die Priorisierung bestand größtenteils Einigkeit. Schwierigkeiten bereitete noch die Frage nach einer genauen Definition von „Complex Sites“ und „Legacy Waste“ sowie die Abgrenzung zu Ansätzen zur Stilllegung von „normalen“ Anlagen die nicht als komplex einzustufen sind. Aufgabe soll nicht sein, die Stilllegung im Allgemeinen neu zu beschreiben, sondern nur auf die Besonderheiten von komplexen Anlagen mit und ohne Legacy Waste einzugehen.

Im Herbst 2021 fand ein Keynote-Treffen der OECD-NEA HDCS-Expertengruppe statt, an dem die GRS teilgenommen hat. Im Rahmen dieses Treffens konnten einige grundlegende Fragen hinsichtlich des Mandats und der Ausrichtung der Gruppe diskutiert und geklärt werden. Hierbei ging es vor allem um das Verständnis für den Begriff „Complex Site“. Als „Complex Site“ sollen vorrangig jene Standorte verstanden werden, welche bereits in Stilllegung sind oder bei denen es sich um Legacy Sites handelt. Etwas spezieller soll sich die Arbeit der Gruppe mit Anlagen befassen bei denen radioaktive oder chemischen Abfälle vorliegen oder diese zu vermuten sind. Außerdem sind Anlagen ohne klar erkennbaren/definierten Betreiber mit einzubeziehen.

Die HDCS-Expertengruppe befindet sich noch am Anfang ihrer Arbeit. Bislang wurden überwiegend Formalitäten zur Arbeitsweise und Begriffsbestimmungen abgehandelt, sowie Arbeitsgruppen gebildet.

#### **4.2.3 Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste Management Programmes and Decommissioning (EGKM)**

Die EGKM befasst sich mit Aktivitäten zur Unterstützung von Radioactive Waste Management Organisations (RWMO) bei der Definition effizienter und effektiver Strategien für das langfristige Management einer sachkundigen Belegschaft /NEA 22/. In der genannten Quelle wird dies folgendermaßen beschrieben: *„Die Expertengruppe befasst sich mit der Entwicklung von Strategien für das Wissensmanagement sowie mit der Analyse digitaler Technologien und ihres Potenzials [...] Die Arbeitsgruppe für Informations-,*

*Daten- und Wissensmanagement (WP-IDKM) hat beschlossen, die dritte Experten-  
gruppe für Wissensmanagement für Programme zur Entsorgung radioaktiver Abfälle und  
Stilllegung (EGKM) einzusetzen. Die EGKM soll folgende Hauptaufgaben wahrnehmen:*

*i) Definition von modernen Wissensmanagement-Strategien und -Methoden, die für  
RWM-Organisationskulturen und -Prozesse geeignet sind.*

- a) Ausarbeitung und Entwurf operativer Leitlinien für die Umsetzung von KM-  
Strategien und -Methoden in RWMOs, zusammen mit Begründungen und Emp-  
fehlungen für Entscheidungsträger.*
- b) Vorbereitung und Nutzung spezieller Kanäle zur Übermittlung der daraus resul-  
tierenden Informationen und Botschaften an die wichtigsten RWM-Akteure in den  
Mitgliedstaaten.*

*ii) Nutzung und Anwendung modernster Wissensmanagement-Methoden, mit besonde-  
rem Schwerpunkt auf der Weitergabe und Bewahrung von implizitem und stillschweigen-  
dem Wissen.*

- a) Vorbereitung der Methodik und Identifizierung von Schlüsselthemen und Wissen-  
strägern für die Anwendung.*
- b) Organisation des kollektiven Wissensaustauschs, der Weitergabe, der Analyse,  
der Konsolidierung und der Kodifizierung sowie Berichterstattung über die aus  
der Anwendung gewonnenen Erkenntnisse zur Anpassung der Methodik.*

*iii) Entwicklung von Ontologien und Bewertung von kognitiven Computertechnologien,  
die für RWM geeignet sind, um in Wissensmanagementsysteme in RWMOs aufgenom-  
men zu werden.*

- a) Vorbereitung einer Methodik und Entwicklung einer formalen RWM-Ontologie  
und einer Reihe von angewandten Ontologien.*
- b) Vorbereitung und Entwurf von Leitlinien für die Implementierung kognitiver Com-  
putertechnologien (z. B. künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen) in RWMOs  
zur Unterstützung von Wissensmanagementsystemen.*
- c) Vorbereitung und Bildung der NEA-Praxisgemeinschaft für RWM-KM-Techno-  
logien, die Mitarbeiter von RWMOs sowie relevante Interessenvertreter über Ge-  
nerationen von Arbeitnehmern und Interessenvertretern während des gesamten  
Lebenszyklus der Abfalllager zusammenbringt.*

*Zur Unterstützung dieser primären Aktivitäten soll die Expertengruppe relevante sekundäre Aktivitäten identifizieren, die vorangebracht werden sollen.“*

Bislang fand im April 2021 eine Plenarsitzung der EGKM statt. Die Inhalte des Treffens werden im Folgenden kurz wiedergegeben.

Das Treffen unterteilte sich grob in zwei Abschnitte. Am ersten Tag wurden vorrangig Vorträge gehalten. In diesen ging es zum Teil um die allgemeine Struktur der OECD-NEA bzw. der EGKM sowie dem Mandat der Gruppe und den damit verbundenen Zielen. In diesem Zusammenhang wurde ebenfalls das Bureau der Expertengruppe offiziell bestätigt und vorgestellt. Im Verlauf des Nachmittages wurden außerdem Vorträge gehalten über Arbeiten der IAEA zum Knowledge Management und generell zur Digitalisierung der Stilllegung. Am zweiten Tag des Meetings ging es zunächst um die Frage, welche der Arbeiten und Ziele des Mandats zu priorisieren sind und in welcher Art dies geschehen sollte. Hierzu wurden die Teilnehmer in drei Gruppen unterteilt und zu weiteren Diskussionen in einzelne digitale Räume verteilt.

Die Aufgaben der EGKM lassen sich in drei Kategorien unterteilen:

1. Definition von Wissensmanagement-Strategien und -Methoden nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, die für RWM-Organisationskulturen und -prozesse geeignet sind.
2. Anwendung von Wissensmanagement-Methoden nach dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, mit dem Augenmerk insbesondere auf den Austausch und die Bewahrung von implizitem und stillem (tacit) Wissen.
3. Entwicklung einer Ontologie und Bewertung von kognitiven Computertechnologien, die für RWM geeignet sind, um in RWMO-Wissensmanagementsysteme aufgenommen zu werden.

Basierend auf diesen wiederum wurden im Vorfeld zur Erstellung des Mandats folgende drei Ziele formuliert:

1. Entwicklung einer allgemeinen KM-Strategie
  - a. Durchführung eines KM-Benchmarks, um vorhandene Systeme zu identifizieren und geeignete Systeme zu finden.

- b. Entwicklung einer allgemeinen RWMO-KM-Strategie unter Verwendung der Ergebnisse der Analyse.
2. KM-Implementierungs-Roadmap
- a. Erweiterung der allgemeinen KM-Strategie zu einem Roadmap-Rahmenwerk, das die Prinzipien der Wissenserfassung und die Prinzipien für einzelne RWMOs umfasst.
  - b. Entwicklung einer Prozessempfehlungen für die Wissenserfassung.
3. Angewandte Ontologie-Entwicklung für RWM und Stilllegung
- a. Aufbau von Kapazitäten: Verbesserung der Fähigkeit des EGKM und des WP IDKM zum Verständnis und Nutzung einer angewandten Ontologie und die Verbindung zu Entscheidungsfindungsprozessen.
  - b. Vorschläge für Methoden zur Entwicklung einer angewandten Ontologie für RWM und Stilllegung.

### **Vorträge**

In verschiedenen Vorträgen wurden Ansätze und Systeme für die Digitalisierung der Stilllegung und des Wissensmanagements vorgestellt. Besonders hervorzuheben ist hierbei der Vortrag über die Arbeiten der IAEA in Bezug auf Wissensmanagement sowie Wissensaufbau und -erhalt.

Der Vortrag der Firma Neolant mit dem Titel „Digital Decommissioning“ behandelte die Facetten, die eine moderne Stilllegung ausmachen. Hierbei ging es vor allem um eine Modernisierung der Abläufe bei der Planung, Datenerfassung und -verarbeitung, sowie der Nutzung modernster Techniken. Hierdurch sollen nicht nur Zeit und Geld eingespart, sondern auch eine Basis für Synergieeffekte zu zukünftigen Stilllegungen gelegt werden.

Am zweiten Tag der Veranstaltung wurde nach kurzer Einführung in kleineren Gruppen weitergearbeitet. Hierzu wurden die Teilnehmer zunächst zufällig auf eine von drei Gruppen verteilt, welche jeweils von zwei Moderatoren geleitet wurde. Die Moderatoren hatten die Aufgabe, den Mitgliedern die zuvor vom Vorstand der EGKM ausgearbeiteten Fragen zu erläutern und diese durch die folgende Diskussion zu begleiten. Nach 30 Minuten wurden die Moderatoren in die nächste Gruppe rotiert, so dass jede Gruppe die Gelegenheit hatte sich zu allen Fragen Gedanken zu machen. Die Fragen waren:

- Was sind die wesentlichen Bausteine für eine erfolgreiche Wissensmanagement-Strategie?
- Was begünstigt eine Organisationskultur, die Wissensmanagement als wertvoll ansieht?
- Welche Wissensbereiche fürchten Sie am meisten, nicht langfristig bewahren zu können?
- Was sind Ihre Hauptschwierigkeiten bei der Erhaltung kritischer Wissensbereiche (z. B. Schwierigkeiten, einen Experten zu rekrutieren)?
- Verfügt Ihre Organisation über ein strukturiertes Wissensmanagementsystem (Informationen, Fähigkeiten und Fachwissen)? Bitte listen Sie die Kernmerkmale und Grundprinzipien des Systems auf.
- Bitte geben Sie an, wie Ihre Organisation F&E im Bereich radiologischer Abfälle zum wissenschaftlichen Fortschritt beiträgt und dessen einheitliches Verständnis und Anwendung sicherstellt.

Sofern Reisen wieder möglich sein werden, wird die nächste Plenarsitzung vom 10. bis 12. Mai 2022 am Hauptsitz der OECD-NEA in Paris stattfinden. In der Zwischenzeit werden weitere Arbeiten in kleineren Gruppen durchgeführt.

#### **4.2.4 Expert Group on the Application of Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-end (EGRRS)**

Die EGRRS besteht seit Ende 2020. Die GRS ist seit Ende 2021 Mitglied der Gruppe. Das Mandat der EGRRS wird in /NEA 22/ wie folgt definiert:

Diese Expertengruppe soll:

- den Austausch von Informationen über die Entwicklung und Anwendung von RRS unter den Teilnehmern fördern; Beiträge der Teilnehmer sammeln und analysieren;
- die wichtigsten und sich abzeichnenden Herausforderungen im Zusammenhang mit der Anwendung von RRS untersuchen; die wichtigsten Faktoren ermitteln, die die Anwendung von RRS beeinflussen; die ermittelten Faktoren ordnen und einen Aktionsplan ausarbeiten, um die Entwicklung im Bereich der Bereitstellung der nuklearen

Back-End-Programme mit RRS zu unterstützen, einschließlich künftiger innovativer Programme (z. B. fortgeschrittene Arten von Kernreaktoren);

- Empfehlungen an die Mitgliedsländer zur Schaffung eines Rahmens ausarbeiten, der eine umfassendere Anwendung von RRS im Bereich des nuklearen Back-Ends ermöglicht; Bemühen um gemeinsame Ansätze und Standards, wo dies angebracht ist;
- die Entwicklung und Umsetzung gemeinsamer Verfahren unterstützen, Regeln, Standards usw., die den Prozess der RRS-Anwendung unter den potenziellen Nutzern der Systeme erleichtern können.

In ihren ersten zwei Jahren konzentrierte sich die Expertengruppe auf einen globalen Überblick über die Situation der RRS-Anwendung, identifizierte und analysierte Faktoren, die die RRS-Anwendung beeinflussen, und erstellte eine vorläufige Kosten-Nutzen-Analyse für RRS-Anwendungen im Back-End-Bereich.

Im Rahmen des verlängerten Mandats wird sich die EGRRS auf die folgenden Themen konzentrieren:

- Entwicklung eines systematischen Ansatzes für ein umfassendes Benchmarking der besten Praktiken für RRS-Anwendungen (Datenbankimplementierung);
- Bereitstellung eines iterativen Prozesses zur Lösungsfindung für die ermittelten Hindernisse im Rechtsrahmen (mit Behörden, Betreibern, Entwicklern, technischen Unterstützungsorganisationen usw.);
- Analyse der künftigen Auswirkungen neuer KI-Entwicklungen bei gleichzeitiger Überwachung und Synergie neuer Entwicklungen und Beratung der Mitgliedsländer zu den Auswirkungen/Chancen;
- Entwicklung einer Kosten-Nutzen-Methode/Struktur für die Anwendung von RRS im Back-End-Bereich, die eine Entscheidungshilfe für die Entscheidung zwischen „menschlichen“ und „robotischen“ Aufgaben bietet.“

Im Dezember 2021 fand das zweite Plenartreffen der EGRRS statt, an welchem die GRS erstmals über dieses Vorhaben teilgenommen hat.

Das Plenartreffen der EGRRS wurde aufgrund der Covid-19-Pandemie als Videokonferenz organisiert. Die Veranstaltung fand an zwei aufeinanderfolgenden Tagen statt, die

sich thematisch deutlich voneinander unterschieden. Der erste Plenartag war geprägt von organisatorischen Aspekten. Der zweite Plenartag bot eine thematische Veranstaltung zum regulatorischen Rahmen für Robotik-Anwendungen im kerntechnischen Bereich. Insgesamt haben an der Veranstaltung etwa 35 (Tag 1) bzw. 55 Teilnehmer (Tag 2) teilgenommen. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte des zweiten Plenartreffens zusammengefasst.

Ein Vertreter von NEA/RWMD fasste in seinem Vortrag zu den „EGRRS Developments Since EGRRS-1“ zunächst kurz den Status zusammen. Für die EGRRS wurden insgesamt 57 Personen aus 13 Länder (und die EC) nominiert. Die IAEA nimmt die Rolle eines Beobachters wahr. Der Abschlussbericht der EGRRS für die erste Mandatsperiode wurde durch das RWMC gebilligt und soll 2022 unter dem Titel „Status, barriers and benefits of robotic and remote systems applications in nuclear decommissioning and radioactive waste management“ veröffentlicht werden. Von der Verlängerung des EGRRS-Mandats durch das RWMC um zwei weitere Jahre wurde ausgegangen. In der kommenden Mandatsperiode sollen die folgenden Ziele verfolgt werden:

- Developing a systematic approach for comprehensive benchmarking of best practice of RRS applications (database) implementation
- Providing an iterative process of solution-finding towards the identified barriers in the regulatory framework (with regulators, operators, developers, TSO, etc.)
- Developing a Cost-benefit methodology/structure for RRS application in the Back-end field providing a decision-making tool on the „human“ vs. „robotics“ task
- Analyzing the future implications of emerging AI developments, while monitoring and synergize new developments, and advise member states on the implications/opportunities

Der Vice-Chair der EGRRS fasste in seinem Vortrag die Ergebnisse des ersten Abschlussberichtes zusammen. Substanzielle Beiträge seien hier durch die drei eingerichteten Ad-hoc-Gruppen („Status“, „Barriers“ und „Cost-Benefit“) erarbeitet wurden, so dass sich diese drei Säulen auch in der Grundstruktur des Berichtes wiederfinden. Für die redaktionelle Qualität des Berichtes hob er die Rolle eines hinzugezogenen Editors hervor und stellte fest, dass dessen geleistete Arbeit nicht durch die EGRRS-Mitglieder hätte aufgefangen werden können. Im folgenden Vortrag berichtete der hinzugezogene Editor von den gewonnenen Erkenntnissen im Zuge der Berichterstellung und sprach mit Blick auf die verlängerte Mandatsperiode einige Empfehlungen für die Erstellung des

nächsten Abschlussberichts aus. Die EGRRS solle sich möglichst frühzeitig entscheiden, ob sie auch für den Abschlussbericht der zweiten Mandatsperiode einen externen Editor beauftragen möchte. Die Anforderungen an einen Editor seien für diese Art von Bericht sehr spezifisch und setzen u. a. ein breites technisches Wissen als auch Erfahrungen bei der Erstellung von Berichten für internationale Organisationen voraus. Abschließend empfahl er, ausgehend von den Erkenntnissen aus der ersten Mandatsperiode, möglichst frühzeitig mit der Erstellung von Beiträgen (in Rohform) zu beginnen.

Die wesentlichen Rückmeldungen auf den ersten Abschlussbericht, die im Rahmen des verlängerten Mandats aufgegriffen werden könnten, wurden folgendermaßen zusammengefasst:

- Focus on RWM topics required, including case studies
- Graded approach for RRS implementation
- Focus on Human Machine Interface ((assisted) collaborative tools)
- Integrated approach for RRS implementation with stakeholders (regulators, service providers, operators, R&D institutions)
- Guidance and grounded cost-benefit-analysis, supported by risk assessment
- Lessons learned from both positive and negative experiences
- Integration of RRS in the digitalization of decommissioning and radioactive waste management

Die Arbeiten der EGRRS in der zweiten Mandatsperiode werden zu wesentlichen Teilen erneut in Ad-hoc-Arbeitsgruppen durchgeführt werden, die sich im Vergleich zur ersten Mandatsperiode aber restrukturieren und sich thematisch an den aufgeführten Zielen des ausgesprochenen Mandats orientieren sollen. Die folgenden drei Ad-hoc-Gruppen wurden vorgeschlagen:

- Guidance on RRS benchmarking, including extension of collected case studies, lessons learned
- Cost-Benefit Analysis with integrated risk assessment. Provide guidance of implementation
- Guidance on regulatory issues for RRS in nuclear back-end

Die Mitglieder der EGRRS stimmten dieser grundlegenden Struktur zu.

Ein weiterer Vertreter von NEA/RWMD erläuterte die Budgetierung der EGRRS für die Jahre 2022 und 2023. Die Basisfinanzierung erfolgt im Rahmen der Möglichkeiten durch das RWMD.

Des Weiteren wurde die Zusammensetzung des Büros diskutiert. Man einigte sich darauf, dass der Vertreter der Universität Birmingham, UK die Position des Chair und der Vertreter von Plejades GmbH, Deutschland die Position des Vice-Chair einnehmen sollen. Mitglieder des Bureaus werden durch RTC, Russland, Brokk, Schweden, JRC, EC und ONR, UK vertreten sein.

Zum Abschluss wurde festgehalten, dass das dritte Plenartreffen im Dezember 2022 stattfinden soll. Eine Vor-Ort-Veranstaltung im Boulogne-Billancourt, Frankreich wird derzeit angestrebt.

Der zweite Tag wurde für eine thematische Fokussierung auf das Thema „Regulatory Framework on Robotics and Applications in the Nuclear Field“ genutzt. Das Format nutzte eine Reihe ausgewählter Vorträge, an denen auch die GRS beteiligt war, und endete mit einer abschließenden Diskussion.

Der Vortrag des „Head of Office of Legal Counsel“ NEA/OLC trug den Titel „Civil Liability for Nuclear Damage“. Die Dozentin diskutierte zunächst die Notwendigkeit von Haftungs- und Entschädigungsregelungen im Nuklearbereich und gab dann einen Überblick über entsprechende internationale Übereinkommen, wie z. B. die Paris Convention on Nuclear Third Party Liability (1960), die Brüssel Convention Supplementary to Paris Convention (1963) und die Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage (1963) sowie entsprechende nachfolgende Übereinkommen. Anschließend wurde dargestellt, was diese Übereinkommen abdecken. Hier wurde insbesondere die Bedeutung der Begrifflichkeiten, wie z. B. nuclear installation, im Sinne dieser Übereinkommen hervorgehoben. Zum Abschluss wurde die Haftung der Lieferanten im Falle eines nuklearen Zwischenfalls angesprochen und die Auswirkungen im Falle eines fehlenden, klaren rechtlichen Rahmens dargelegt.

Der zweite Vortrag wurde von einem Vertreter des World Institute for Nuclear Safety (WINS) gehalten. Der Dozent stellte zunächst das WINS vor und diskutierte dann die

aufkommenden Herausforderungen im Bereich der Sicherheit (security) unter Berücksichtigung von Robotik-Systemen. Der Vortrag wurde mit einer Reihe generischer Empfehlungen abgeschlossen. Diese richteten sich z. B. an eine möglichst technologieneutrale und zielorientierte Gesetzgebung oder auch die Einrichtung von Austauschplattformen, auf denen sich Behörden und Betreiber zu „best practices“ und „lessons learned“ austauschen könnten.

Im Anschluss berichtete ein Vertreter von DG MOVE, EC über die Perspektive der Generaldirektion Mobilität und Verkehr (DG MOVE) zum Thema KI in den Bereichen Transport und Mobilität. Der Dozent erläuterte zunächst den allgemeinen EU-Kontext zum Thema KI und legte dann einige Chancen dar, die sich aus der KI für den Transport und Mobilitätsbereich ergeben. Resultierende Vorteile liegen hier hauptsächlich im Bereich der Optimierung und Effizienzerhöhung im Kontext von Planungen, Organisationen und Vorhersagen (z. B. Wetter, Verkehr, Instandhaltung), aber auch die Verbesserung der Sicherheit und Sicherung sei grundsätzlich abzusehen. Der Dozent beendete seinen Vortrag mit einigen Herausforderungen, die in diesem Zuge zu beachten seien, z. B. in den Bereichen Technologie (z. B. Datenschutz und Bereitstellung von Standards), Recht (z. B. Haftungsfragen mit KI-Bezug) und Soziale Fragen/Ökonomie (z. B. Anpassung von Geschäftsmodellen).

Ein Vertreter von DSA, Norwegen berichtete von regulatorischen Aspekten bei Automatisierungsprozessen auf Basis der Fallstudie des Norwegisch-Russischen Regulatorischen Programms für die legacy site Andrejewa Bucht. Die Dozentin blickte zunächst auf das DAS-FMBA Programm (1995 bis 2020) zurück und stellte die wesentlichen Ergebnisse vor, wie z. B. die Erarbeitung von mehr als 30 regulatorischen Dokumenten, die Durchführung von Notfallübungen oder die Entwicklung von Visualisierungswerkzeugen im Kontext der Dosisüberwachung und Sanierungsplanung. Anschließend stellte sie aktuelle Tätigkeiten vor, wie z. B. die Erfassung/Überwachung von psychologischen und physiologischen Parametern bei Arbeitskräften mit Hilfe von Schwingungsbildern (vibrating imaging), mit denen z. B. individuelle Reaktionen auf Stresssituationen erfasst werden sollen. Diese Methode könnte z. B. genutzt werden, um für kritische Aktivitäten besonders widerstandsfähige Mitarbeiter auszuwählen. Weitere Tätigkeiten werden u. a. in den Bereichen Visualisierung und Datenanalyse verfolgt.

Der fünfte Vortrag wurde von einem Vertreter von ONR, UK zum Thema „Enabling Innovation in Nuclear: Regulatory Approach and Lessons Learned“ gehalten. Der Vortra-

gende stellte zunächst kurz die regulatorische Situation in Großbritannien dar und betonte, dass diese im Kern nicht beschreibend sei, sondern sich an dem ALARP Konzept, den Grundsätzen der Sicherheitsbewertung und technische Bewertungsleitfäden orientiere. Für den Umgang der ONR mit (technischen) Innovationen verwies der Dozent auf den Nuclear Sector Deal (2018) und den ONR Approach to Regulating Innovation (2020). Im Folgenden wurde beispielhaft dargelegt, wie praktisch Innovationen ermöglicht werden können. Hier spielen Robotiksysteme eine wesentliche Rolle. Ein wesentlicher Teil der Strategie fokussiert sich auf der Abschwächung blockierender Faktoren. Eine möglichst frühe Beteiligung der Behörde sei wesentlich, um Stolpersteine im späten Genehmigungsverfahren zu vermeiden.

Der sechste Vortrag war ein gemeinschaftlicher Beitrag der GRS und dem Forschungsnetzwerk Digital Shadows und diskutierte die Herausforderungen der Robotik im Kontext der regulatorischen Rahmenbedingungen in Deutschland. Die GRS gab hier einen kurzen Einblick in das deutsche Regelwerk und hob einige Passagen des Regelwerks hervor, aus denen sich Rückschlüsse mit Bezug zu Robotik-Systemen herstellen lassen. Grundsätzlich seien weite Passagen des Regelwerks technologieneutral, eine zentrale Voraussetzung sei aber die Vermeidung unnötiger Expositionen und Dosisreduzierungen. Mit Verweis auf das Aufsichtsverfahren sind bei der Anwendung neuer Techniken zusätzliche Nachweise erforderlich, die das Verfahren entsprechend aufwendiger gestalten können. Grundsätzlich sei es in vielen Fällen ratsam, Entwicklungen schrittweise umzusetzen und nicht mehrere Entwicklungsschritte auf einmal zu gehen. Dies nimmt insbesondere Bezug auf den Robotik-Bereich, bei dem der Grad der Automatisierung von fernhantiert bis zu voll-autonom reichen kann. Im Anschluss gab eine Vertreterin des Fraunhofer-Instituts, Deutschland einen Einblick in das Forschungsnetzwerk Digital Shadows. Ausgangspunkt dieses Teilbeitrags war eine Auseinandersetzung mit den industriellen Herausforderungen sowie mit den Begriffen Sichere Daten und Sichere Bearbeitung. Als Beispiel verwies sie auf kognitive Sensoren, bei denen erfasste Daten zunächst einer KI-gestützten Be-/Auswertung zugeführt werden. Zum Abschluss ihres Beitrags diskutierte die Dozentin die Konzepte des Digitalen Zwillings und des Digitalen Schattens.

Im Anschluss dozierte ein Vertreter von Brokk, Schweden aus der Sicht der Betreiber und Entwickler zum Thema RRS-Sicherheit. Die wahrscheinlichsten Risikofaktoren in der Stilllegung seien durch das Strahlungsfeld, die Brandgefahr, die Anwesenheit explosiver Gase und die Notwendigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen an den eingesetzten

Geräten gegeben. Für die technologische Berücksichtigung der Risiken legte er ein gestuftes Vorgehen in Abhängigkeit der Intensität des Strahlungsfelds (gering, mittel und hoch) zugrunde, ohne diese näher zu quantifizieren. In diesem Zuge stellt er technische Lösungen aus dem Portfolio seines Unternehmens vor und fokussierte sich hierbei auf Auswirkungen des Strahlungsfelds auf das Design der eingesetzten Gerätschaften. Im Wesentlichen werden mit steigender Strahlungsintensität zusätzliche Abschirmungen eingesetzt. Zudem werden, insbesondere bei hohen Strahlungsfeldern, verhältnismäßig einfache elektronische Bauteile verwendet und versucht, diese möglichst weit von den Strahlungsquellen zu platzieren. Fernhantierung und die potenzielle Bergbarkeit im Falle technischer Ausfälle seien weitere wichtige Konzepte.

Der letzte Vortrag wurde von Magics Technologies, Belgien gehalten und setzte sich mit Industrieprotokollen im Kontext elektronischer Bauteile auseinander. Er stellte fest, dass es grundsätzlichen Bedarf an einem internationalen Standard für den Bereich Robotik im nuklearen Sektor gäbe. Im Bereich der Qualifizierung von elektronischen Bauteilen zeigte er beispielhaft, wie diese bezogen auf die Strahlungsresistenz verläuft. Er verwies auf die funktionale Sicherheit von elektronischen Bauteilen durch die Verwendung von internen Diagnoseansätzen, bei denen auch redundante Systeme als funktionssichernde Ebene genutzt werden. Abschließend warb er auch für die Einführung eines Standards für Mikroelektronik im kerntechnischen Bereich.

Die Veranstaltung wurde durch eine Diskussionsrunde abgeschlossen. Ein wesentlicher Diskussionspunkt betraf die Verwendung KI im nuklearen Sektor vor dem Hintergrund, dass diese in vielen Fällen einen Black-Box-Charakter habe, der eine sicherheitstechnische Analyse herausfordernd gestalte.

Es wurde angemerkt, dass das Spektrum autonomer Systeme sehr weit sei. Ein Vertreter aus Großbritannien nannte hier beispielhaft zu Überwachungszwecken eingesetzte Drohnen als auch autonome Systeme für den Abbau oder die Zerlegung von Lagertanks. Hier könne man überlegen, inwieweit die jeweils zu berücksichtigenden regulatorischen Kriterien sich auch an das Gefährdungspotential der durchzuführenden Maßnahme richten könne. Von Seiten der Betreiber wurde der Wunsch nach einer Reduzierung der regulatorischen Anforderungen geäußert.

Aus regulatorischer Sicht wurde festgestellt, dass sich die derzeitigen Sicherheitsstandards primär an menschliche Akteure richtet. Hier wurde die Frage aufgeworfen, wie

diese Standards angepasst werden müssten, wenn zunehmend autonome Systeme eingesetzt werden würden.

#### **4.2.5 NEA-Workshop: Regulatory Framework of Decommissioning, Legacy Sites and Wastes from Decommissioning**

Der Workshop mit dem Titel „Regulatory Framework of Decommissioning, Legacy Sites and Wastes from Decommissioning“ fand vom 29. Oktober bis 1. November 2019 im norwegischen Tromsø statt und wurde von der OECD/NEA organisiert, unterstützt von IAEA, ICRP sowie der norwegischen DSA (Direktoratet for stralevern og atomsikkerhet). Es handelte sich um die dritte Veranstaltung dieser Art, diesmal mit dem thematischen Schwerpunkt der Optimierung (Building Optimization into the Process).

Bei insgesamt 65 Personen aus 17 Ländern gab es eine größere Beteiligung von Teilnehmern aus Russland, Norwegen, Großbritannien und den USA. Auch Personen aus Ländern der ehemaligen UdSSR waren vertreten. Am ersten Veranstaltungstag stellten sich die ausrichtenden Institutionen vor und es wurden Fachvorträge gehalten. Am zweiten und dritten Tag fanden neben Fachvorträgen jeweils halbtägige Gruppenarbeiten statt. Drei Gruppen mit jeweils rund 20 Personen bearbeiteten alle die identischen Fragen, die schon vorab versendet worden waren:

1. What does „optimisation of protection“ mean in circumstances of decommissioning, legacy and waste management?
2. What common elements of „optimisation of protection“ should be included in an overall „legislative/regulatory framework“ encompassing optimisation of protection for any circumstance?
3. What elements of „optimisation of protection“ are specific to the circumstances of decommissioning, legacy and waste management?

Die Gruppen diskutierten mögliche Antworten auf diese Fragen und stellten am letzten Veranstaltungstag ihre Ergebnisse in Präsentationen vor, welche abschließend diskutiert wurden.

In der Arbeitsgruppe, in der die GRS teilgenommen hat, wurden die drei oben genannten Fragen zusammenfassend bearbeitet. Eine relativ große Zahl der Gruppenteilnehmer sah soziale und gesellschaftliche Aspekte als diejenigen an, die weiter zu optimieren

wären. Unterschiede zwischen Stilllegung, Abfallmanagement und Hinterlassenschaften wurden eher wenige gesehen. Die GRS brachte ein, dass das sogenannte „Change Management“ beim Übergang vom Leistungsbetrieb zu einem projektbasierten Abbaubetrieb ein Aspekt ist, der nur für die Stilllegung relevant ist.

Es wurde ein dreiteiliges Textdokument entwickelt. Im ersten Teil wurden die Stellgrößen aufgeführt, die optimiert werden können. Diese sind u. a.: Interessengruppen, Kosten, Projektrisiken, Strahlenschutz, Entsorgungswege, Qualifikation, physische, chemische und radiologische Risiken sowie Umweltverträglichkeit.

Im zweiten Teil wurden Mittel und Wege aufgeführt, welche die Stellgrößen potenziell optimieren können, z. B. Stakeholdermanagement, Projektmanagement, Integrierte Managementsysteme, Ausbildungsprogramme, Sicherheitsbewertungen und offene Kommunikation.

Für den dritten Teil wurden die Teilnehmer gefragt, „was hindert mich daran, mein Projekt fertig zu stellen?“. Es wurden also konkrete Beispiele gesucht, die danach auf das essenzielle Problem heruntergebrochen aufgeführt wurden. Von der GRS wurde als Beispiel KWW gewählt, in dessen UNS-Gebäude Stilllegungsabfälle lagern und verhindern, dass das Reaktorgebäude abgerissen werden kann. Weitere Beispiele waren fehlende Gesetze bzw. Zuständigkeiten bei gemischten Gefahrstoffen (konkret Asbest und Alpha-Kontamination, Frankreich), fehlende Entsorgungspfade für Graphit (UK, Frankreich) oder unzureichende finanzielle Mittel, fehlendes qualifiziertes Personal, fehlende Informationen (Aserbaidschan, Ukraine).

Neben den Gruppenarbeiten wurden Vorträge gehalten, von denen diejenigen mit besonders interessantem Inhalt im Folgenden wiedergegeben werden. Ein verhältnismäßig großer Anteil der Vorträge handelte vom Umgang mit Hinterlassenschaften aus der Vergangenheit.

Von Seiten der norwegischen DSA wurden Ergebnisse eines Workshops in Lillehammer sowie der Expert Group Legacy Management (EGLM) vorgestellt. Schwerpunkt des Workshops waren die Identifikation von Herausforderungen und Unsicherheiten in der Stilllegung sowie von bereits gemachten Erfahrungen (lessons learnt). Als besonders wichtig wurden identifiziert: Ein effektiver Dialog-Prozess mit betroffenen Gruppen; die Zuordnung von Verantwortlichkeiten; finanzielle Mittel, die selbst in wohlhabenden Län-

dem immer begrenzt sind; die gegenseitige Integration von Sicherheit, Sicherung, Strahlenschutz bei Stilllegung und Legacy-Management. Herausgestellt wurde außerdem, dass Anlagenbesuche Aufschluss darüber liefern können, welche Herausforderungen anlagenspezifisch sind und welche allgemeingültig und international relevant sind.

Im Vortrag vom Vorsitzenden des NEA Regulators Forum (FANC) wurde über Schlüsselemente und Ziele für Stilllegung und Verwaltung von Hinterlassenschaften und Abfallmanagement gesprochen. Als häufiges Problem für den Abschluss der Stilllegung wurden verlängerte Zwischenlagerungszeiten genannt, die verhindern, dass Gebäude freigeräumt und abgerissen werden können. Auch Endlager stellen häufig einen Flaschenhals dar, da die Einlagerung nicht beliebig schnell ablaufen kann. Viele Aspekte von Stilllegung und Abfallmanagement sind identisch, doch es gibt Unterschiede, etwa bei Interessengruppen, da Personen bei Errichtung von Zwischen- und Endlagern auf andere Weise betroffen sind als bei der Stilllegung von Bestandsanlagen. Bei der Kommunikation mit Interessengruppen sind ethische und gesellschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Es ist wichtig, Begriffe eindeutig zu definieren, damit alle die gleiche Sprache sprechen. Hierbei kommt den Behörden eine wichtige Aufgabe zu. Hier gäbe es Optionen für eine vorschreibende Regulierung und eine zielorientierte Regulierung, bzw. eine Mischung aus beidem. Einen effektiven Regulator mache u. a. aus: klare Rollenverteilung, realistische und klare Vorgaben, Unabhängigkeit, Kompetenz, Offenheit und Transparenz, Kommunikationsfähigkeit und die Fähigkeit, sich auf Neues einzustellen. Ggfs. sei mehr Regulierung nötig, um den gewünschten Endzustand herzustellen.

Im Vereinigten Königreich wurde Mitte 2018 der Leitfaden mit dem Titel „Management of radioactive waste from decommissioning of nuclear sites: Guidance on Requirements for Release from Radioactive Substances Regulation“ veröffentlicht. Dieser beschreibt die Anforderungen für die Entlassung von kerntechnischen Anlagen aus der nuklearen regulatorischen Kontrolle und wurde ab 2014 entwickelt. Hierin werden 15 grundlegende Anforderungen und fünf Prinzipien definiert, die sich den Schutzziele unterordnen. Der Leitfaden entstand vor dem Hintergrund großer und weit in die Zukunft reichender Herausforderungen des Landes. Durch die Insellage gilt dem Schutz vor Überflutung besondere Aufmerksamkeit. Allein aus zivilen Anlagen werden 4,5 Mio. m<sup>3</sup> Abfälle insgesamt erwartet, von denen bereits 1,2 Mio. m<sup>3</sup> in Genehmigungsverfahren berücksichtigt sind. Die Planungen zu Stilllegung und Umweltsanierung reichen rund 100 Jahre in die Zukunft. Verschiedene Optionen zum Abfallmanagement werden aufgeführt, darunter auch

die Entsorgung vor Ort (on-site disposal). Der Leitfaden wird in den nächsten 5 bis 7 Jahren eingeführt bzw. umgesetzt, wobei die Industrie mit eingebunden wird. Für die vielfältigen vorhandenen Anlagentypen wird eine entsprechende Infrastruktur benötigt. Optimierungen in dieser Richtung sollen im gesamten Vereinigten Königreich und nicht regional erfolgen.

Ebenfalls aus Großbritannien berichtete eine Vertreterin der NDA. Von 36 Anlagen in Stilllegung sind 17 der NDA zugeordnet. Die geschätzten Gesamtkosten in einem Zeitraum von 120 Jahren (etwa 100 Jahre ab jetzt) betragen 121 Mrd. britische Pfund. Von diesem Kosten entfallen 75,4 % auf die Anlagen in Sellafield. Weniger international bekannt als Sellafield sind die Anlagen in Dounreay in Nordschottland. Dort ereignete sich im Jahr 1977 ein Unfall (Wasserstoffexplosion nach Reaktion von Kalium und Natrium in Salzwasser), infolgedessen Teile des Strandes kontaminiert wurden und teilweise bis heute sind. Das KKW in Trawsfynydd (Wales) besitzt sehr viele unterirdische Teile, die bei der Stilllegung eine Herausforderung bedeuten. Die Flächen um die Anlage werden nach und nach freigegeben, wobei auf den natürlichen Zerfall der Radionuklide gesetzt wird. Im Jahr 2103 werden 100 % der Fläche wieder nutzbar sein, davon 7 % eingeschränkt (restricted).

Es wurde über die Stilllegung von Gebäude 5 der russischen Anlage Andreeva Bay berichtet. Dort gab es im Jahr 1982 einen Unfall, und das Gebäude wurde nach Entfernen intakter Brennelemente (bis 1989) zurückgelassen. Ein Betreten des Gebäudes durch Personen war wegen sehr hoher ODL nicht möglich, weshalb es seit 2013 mit strahlengeschützten Kameras per Roboter untersucht wurde. Ein 3D-Modell sowie eine Dosiskarte wurden erstellt. Neben den Gefahren hoher ODL besteht auch Einsturzgefahr. Die Infrastruktur des Gebäudes (Elektrizität, Kräne, etc.) waren nicht nutzbar. Sämtliche Stilllegungsarbeiten im Gebäude wurden durch Roboter durchgeführt, die von drei Personen gesteuert wurden, welche sich in einem anderen Gebäude befanden. Nach etwa 1-jähriger Planung wurden in zehn Tagen einzelne defekte Brennstäbe aus einer Grube gehoben, in Metallhülsen eingeschoben, versiegelt und schließlich entfernt. Um an die Grube zu gelangen, wurde eine Abdeckung mittels Kreissäge aufgetrennt. 95 % der Arbeiten erfolgten vollautomatisch. Die ODL wurde durch die Maßnahme auf 1/40 reduziert.

Zwei Vertreter des russischen Federal Medical Biophysical Center (FMBC) berichteten über menschliche Faktoren und wie in diesem Zusammenhang mit Risiken umgegangen werden kann. Bisher würden in der Regel nur Arbeiter in die Betrachtung einbezogen

und weniger das Risiko durch Entscheider. 80 % der Vorkommnisse im Bereich Abfallmanagement werden von Menschen verursacht. Zu betrachten seien komplexe Mensch-Maschine-Systeme, inklusive der Psychologie und Physiologie der beteiligten Personen. Das Beispiel Fukushima zeige, wie falsche Entscheidungen, auch beeinflusst durch die Mentalität, Unfallhergänge beeinflussen können. In den 1970er Jahren wurden Menschen und ihre Risiken wie Maschinen betrachtet und damit gerechnet, was zu wenig brauchbaren Ergebnissen führte. Neuere Modelle berücksichtigen den Einfluss von Training und Ausbildung. Für Stilllegungsarbeiten in einer russischen Anlage, die vergleichbar mit den US-amerikanischen Oak-Ridge-Anlagen sein sollen, wurde ein neues System zur Vorhersage der psychologischen und physiologischen Tauglichkeit von Personen angewendet. Mit Hilfe von Kameras werden Gesichtszüge und körperliche Bewegungen aufgezeichnet und von einem Computer ausgewertet. Durch Muster in sogenannten Vibrogrammen sollen Stresssituationen erkannt werden. Auch die Sicherheitskultur Einzelner soll so quantifiziert werden können. Aufzeichnungen verschiedener Personen zeigten, unabhängig von Stresssituationen, Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Aus den Vibrogrammen sind hormonelle Schwankungen als Überlagerung ablesbar, die den Zyklus zeigen. Auf Aspekte des Persönlichkeitsrechts wurde im Vortrag nicht eingegangen.

## **Fazit**

Der Schwerpunkt der Veranstaltung lag bei der Optimierung von Stilllegung, Abfallmanagement und Hinterlassenschaften. Wenngleich die Mehrzahl der Vorträge die zwei letzten Punkte betraf, so lassen sich die Aspekte der Optimierung – davon losgelöst – in der Regel auf alle drei Themen anwenden. Auch die Arbeitsgruppen kamen unabhängig voneinander zu dem Schluss, dass es nur wenige Unterschiede für die Optimierung in den drei Bereichen gibt. Die Unterschiede betreffen hauptsächlich die angewendeten Techniken und die betroffenen Stakeholder.

Das Format der Veranstaltung eignet sich gut für den internationalen Erfahrungsaustausch, insbesondere durch die Diskussionen in den Gruppen.

## 4.3 Mitarbeit in sonstigen internationalen Netzwerken

### 4.3.1 Share-Workshops der Europäischen Union (2020/2022)

Zielsetzung des SHARE-Projektes ist es, den internationalen Forschungsbedarf der kommenden 10 bis 15 Jahre hinsichtlich der Stilllegung zu ermitteln. Dazu findet ein Austausch mit verschiedenen Interessengruppen statt, und es findet eine EU-seitige Koordination mit den internationalen Akteuren statt. Eine Lückenanalyse sowie eine Forschungsagenda soll für künftige Kollaborationen durchgeführt bzw. erstellt werden.

Der Workshop startete und endete mit Plenarvorträgen, war aber überwiegend geprägt vom gemeinsamen Arbeiten in Unterarbeitsgruppen mit Hilfe der sogenannten Murals. Insgesamt wurden acht Themenfelder bearbeitet (siehe Abb. 4.10).



**Abb. 4.10** Themenfelder des SHARE-Workshops 2020 /DEW 21/

Die GRS war zum Thema (4) bzw. in Gruppe C zur Charakterisierung involviert. Die generelle Arbeitsweise und die schrittweise gegebenen Fragestellungen sind in Abb. 4.11 illustriert.

In der Gruppe C zur Charakterisierung wurden die größten Forschungsbedarfe in folgenden Themenfeldern identifiziert:

- Techniken für schwer zugängliche Stellen (Höhe, Verbau, Arbeitsschutz)

- Inventarbestimmung (radiologisch und konventionell)
- Charakterisierung aktivierter metallischer Komponenten
- Charakterisierung von aktiviertem Beton
- Zerstörungsfreie Messtechnik für Alpha- und Beta-Strahler
- Methoden zur Bewertung der Anlagenhistorie.



**Abb. 4.11** Gruppenarbeit beim SHARE-Workshop mit „Murals“ /DEW 21/

Das abschließende Seminar zum Share H2020 Project fand am 28. Februar 2022 als Onlineveranstaltung statt. Hier wurden die Ergebnisse eines im Verlauf des Projekts erstellten Fragebogens vorgestellt, der die Bedürfnisse und Wünsche verschiedener Interessengruppen charakterisiert. Die Identifizierung der vielversprechendsten Forschungsthemen hilft der EU und den Interessengruppen beim Verständnis und bei der Bewertung von Themen, welche in den nächsten Jahrzehnten für eine finanzielle Unterstützung empfohlen werden sollen. In einem der ersten Arbeitspakete des Projekts wurden acht übergeordnete Themen ermittelt, welche die grundlegenden Arbeiten in der Stilllegung einordnen (siehe Tab. 4.2).

**Tab. 4.2** Liste der behandelten Themen

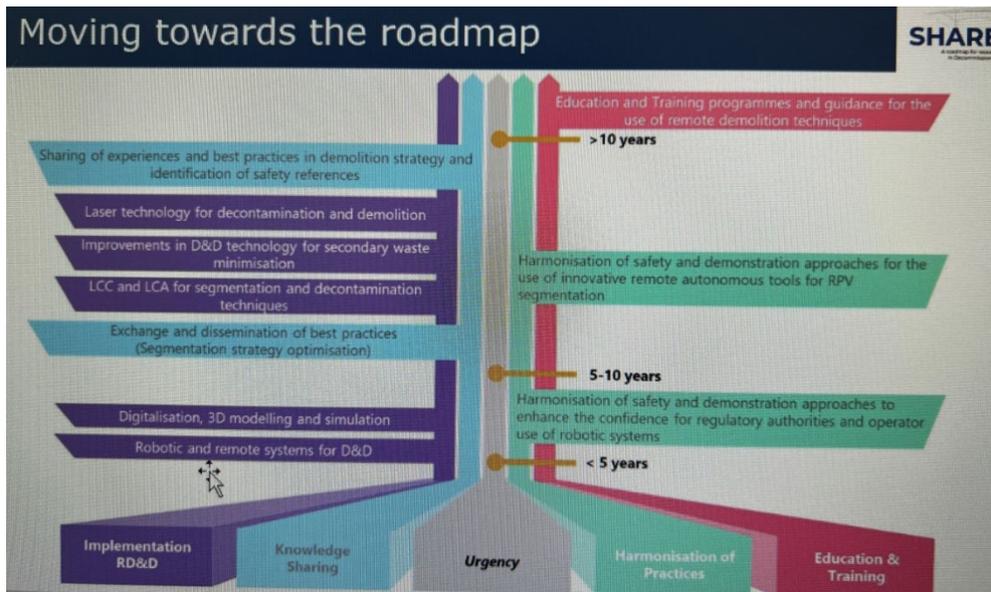
| ID | Thematic areas                          |
|----|---|
| Q1 | Safety and radiological aspects         |
| Q2 | Project management and costing          |
| Q3 | Human resources management              |
| Q4 | Characterisation during decommissioning |
| Q5 | Site preparatory activities             |

| ID | Thematic areas  |
|----|---|
| Q6 | Dismantling   |
| Q7 | Environmental remediation and site release                        |
| Q8 | Management of material and radioactive waste from decommissioning |

Insgesamt wurden außerdem 71 Sub-Themen erarbeitet und diesen acht Hauptthemen zugeordnet. Die Maßnahmen, welche anhand der Sub-Themen charakterisiert wurden, wurden dabei noch einmal in die folgenden vier Blöcke unterteilt:

- Research and Development (Forschung und Entwicklung)
- Harmonisation of Practices (Übereinstimmende Praktiken)
- Knowledge Sharing (Wissensaustausch)
- Education and Training (Aus- und Fortbildung)

In mehreren im Verlauf des Projekts stattgefundenen Workshops wurden aus den Erfordernissen bzw. Wünschen der Interessenvertreter Maßnahmen charakterisiert, welche umgesetzt werden sollten. Inhalt des abschließenden Seminars war es die Wichtung dieser Maßnahmen durch einen Fragebogen zu ermitteln und für alle acht Themen eine Art Roadmap zu erstellen (vgl. Abb. 4.12) anhand derer sich die einzelnen Aufgabengebiete und der zugehörige Erfüllungszeitrahmen feststellen lassen. Anliegen mit einer hohen Priorisierung sollten dabei im Zeitraum der nächsten fünf Jahre bearbeitet werden. Maßnahmen mit geringer Priorisierung wurden mit einem Realisierungszeitrahmen von mehr als zehn Jahren abgesteckt.



**Abb. 4.12** Roadmap der Maßnahmen im Themenblock „Characterisation during decommissioning“

Ein in den Themenblöcken „Characterisation during decommissioning“ bzw. „Site preparatory activities and dismantling“ immer wieder auftauchendes Forschungsthema mit hoher Priorisierung war der Wunsch hinsichtlich der Entwicklung robotergestützter bzw. ferngesteuerter Systeme, welche sich zur Charakterisierung und für Zerlege- und Dekontaminationsarbeiten einsetzen lassen. In diesem Zusammenhang und eingeordnet als „Harmonisation of Practices“ tauchte das Anliegen auf, Vertrauen bei der Einführung neuer Techniken, gerade im Zusammenhang bzgl. Robotik, hinsichtlich der Regulatoren zu etablieren. Darüber hinaus wurden die Digitalisierung, 3D-Modelling bzw. Simulationen als für die Stakeholder wichtige Punkte charakterisiert. Hierzu zählen u. a. neben dem Einsetzen von KI zur automatisierten Objekterkennung auch das Erstellen von 3D-Modellen, mit denen sich die Stilllegungsarbeiten besser planen lassen. Außerdem wurde der Wunsch geäußert in der Planung von Prozessabläufen vermehrt computer-gestützte Software einzusetzen und diese besser über verschiedene Prozessabläufe miteinander zu vernetzen. Hier wurde insbesondere auf das BIM hingewiesen. Aus der Roadmap des Themenblocks „Radioactive Waste Management“ ergab sich der Wunsch eine Art Richtindex einzuführen, anhand dessen sich bspw. die Kostenabschätzung für Arbeiten in der Stilllegung als auch beste Vorgehensweisen hinsichtlich Methoden in der Charakterisierung bzw. Konditionierung radioaktiver Abfälle (ILW/VLW) besser einschätzen lassen. Außerdem wurde dem Vereinheitlichen der Methodik zum Recyclen freige-messener Stoffe eine hohe Priorisierung zugewiesen. Ein weiterer Punkt, welcher bspw. im Themenblock „Safety and radiological protection“ auftauchte, war es, Methoden bzw.

Ansätze zu etablieren, mit denen sich Wissensaustausch auch im internationalen Rahmen realisieren lassen. Weiterhin wurde der Gewinnung junger Arbeitnehmer eine sehr hohe Gewichtung zugewiesen. Außerdem wurde angeführt, dass das Anlernen junger Arbeitnehmer über besser angepasste und maßgeschneiderte Ausbildungsprogramme erfolgen sollte. Den Maßnahmen im Themenblock „Environmental remediation and site release“ wurde nur eine geringe Wichtung zugewiesen. Hier ergab sich aus der Auswertung des Fragebogens, dass über die nächsten fünf Jahre wenig Handlungsbedarf besteht.

#### **4.4 Erfahrungsaustausch und Hospitationen bei ausländischen Projekten**

Im Verlauf des Vorhabens konnte nur eins von zwei vorgesehenen Treffen zum Zweck einer Hospitation oder eines Erfahrungsaustauschs, auch wegen pandemiebedingter Einschränkungen, realisiert werden.

##### **4.4.1 Erfahrungsaustausch zwischen ENSI (CH) und GRS (2019)**

Das zweitägige Treffen zwischen GRS und ENSI im November 2019 war so angelegt, dass in kleinem Personenkreis gegenseitig Vorträge gehalten wurden und bereits währenddessen Diskussionen und Rückfragen stattfanden. Vorab wurden jeweils Wünsche zu Vortragsinhalten geäußert und von beiden Seiten entsprechende Präsentationen erstellt. Zentrales Thema des ENSI war die bevorstehende Stilllegung des KKW Mühleberg und technische Details zur Abbauplanung, umrahmt von Informationen zum Genehmigungsverfahren, zum Umgang mit Stilllegungsabfällen inklusive Endlagerung und zur Planung für die übrigen KKW in der Schweiz. Die GRS berichtete über die Ergebnisse des abgelaufenen Vorläufervorhabens zum Internationalen Erfahrungsaustausch, zu meldepflichtigen Ereignissen mit Stilllegungsrelevanz sowie über Stand und Nutzen des GRS-Stilllegungs-WIKIs. Aus zeitlichen Gründen konnten vorbereitete Vorträge zur Anwendung von Systemdekontaminationen in Deutschland und zur Charakterisierung schwer messbarer Radionuklide nicht gehalten werden.

Von Seiten des ENSI waren Personen unterschiedlicher Sektionen anwesend (Stilllegung, Werksinspektion, Systemtechnik), meist Deutsche.

Nach einer Vorstellungsrunde stellten sich die GRS und das ENSI als Organisationen vor. Das ENSI ist die Aufsichtsbehörde des (schweizerischen) Bundes für die nukleare

Sicherheit und Sicherung (seit 2011). Das ENSI ist keine Genehmigungsbehörde, sondern nur für die Aufsicht und Inspektion zuständig. Genehmigungen erteilt das Bundesamt für Energie (BFE). Die Aufsicht erstreckt sich über Bau, Betrieb, Stilllegung, Transport und Entsorgung im Zusammenhang mit KKW, Zwischenlagern und nuklearen Forschungsanlagen. Seit 2009 ist das ENSI unabhängig. Zuvor waren Aufsichts- und Genehmigungsbehörde in der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) zusammengefasst. Das ENSI ist eine öffentlich-rechtliche Anstalt und zu über 95 % gebührenfinanziert. Das Jahresbudget beträgt rund 60 Mio. CHF. Etwa 150 Beschäftigte decken ein breites Spektrum von Fachgebieten ab. Im Vergleich zu Deutschland übernimmt das ENSI die Aufgaben, die hierzulande einerseits den Aufsichtsbehörden der Bundesländer obliegen und andererseits auch Arbeiten, die die technischen Überwachungsvereine durchführen.

Auf die Stilllegung des KKW Mühleberg wurde in insgesamt drei Vorträgen eingegangen, jeweils mit Schwerpunkt auf den Vorbereitenden Maßnahmen (VM), zur Stilllegungsphase 1 (SP1) und zur technischen Umsetzung der Stilllegung. Die Erkenntnisse der Vorträge und Diskussionen hierzu werden im Folgenden zusammenfassend dargestellt. Das KKW Mühleberg ist ein SWR mit 373 MW elektrischer Leistung und vom Typ General Electric SWR 4/ Mark 1. Die Anlage beendete den Leistungsbetrieb am 20. Dezember 2019 nach 47 Jahren. Hintergrund der Stilllegungsentscheidung durch den Betreiber BKW sind wirtschaftliche Gründe. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima im Jahr 2011 wurden vom ENSI hohe Auflagen für einen Langzeit-Weiterbetrieb von insgesamt 60 Jahren erlassen, die für den Betreiber unwirtschaftlich gewesen wären, da ein dreistelliger Millionenbetrag hätte bereitgestellt werden müssen (in CHF). Das KKW Mühleberg ist vom selben Anlagentyp wie die Anlage Fukushima Dai-ichi. Für den Weiterbetrieb bis Ende 2019 wurden erheblich geringere Nachrüstungen gefordert. Im Jahr 2013 beschloss der Betreiber die Stilllegung ab 2020 und die Erweiterung des autarken redundanten Brennelementlagerbeckenkühlsystems Arbek zur Erfüllung der Vorgaben. Nach dem Reaktorunfall in Fukushima wurde eine zusätzliche Redundanz für die Kühlung und eine zusätzliche Einspeisung des Reaktordruckbehälters gefordert, die als zusätzliche Arbek-Systeme ausgeführt wurden. Mit Arbek wird die Autarkie der Kühlung des BE-Beckens unabhängig von anderen Einrichtungen des KKW Mühleberg erreicht. Die Teilbereiche und der Umfang von Arbek sind in Abb. 4.13 veranschaulicht /BKW 16/.

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Arbek-Betriebssysteme</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Betriebliche Kühlung des BEB und Anpassung an aktuelle Anforderungen</li> </ul>  |
| <b>Arbek-Sicherheitssystem</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abfuhr der Nachzerfallswärme am BEB über Eintauchkühler</li> <li>■ Redundante Kühlwasserpumpen und Zwischenkühler im SUSAN-Interface</li> <li>■ Rückkühlung über SUSAN-Kühlsystem</li> </ul> |
| <b>Arbek-Notfallsystem</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Versorgung und Nachspeisung des BEB-Kühlsystems über Hochreservoir, weitere Hilfssysteme oder Feuerweherschlussstutzen</li> </ul>  |
| <b>Arbek-Zusatzverschluss</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ergänzung der Lagerbeckenschleuse durch redundanten Zusatzverschluss</li> </ul>  |
| <b>Arbek-Rückwirkungsschutz</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Schutz der mit Arbek verbundenen sicherheitsrelevanten Systeme vor Rückwirkungen aus Tätigkeiten in der Anlage (besonders 29m Ebene)</li> </ul>  |

**Abb. 4.13** Arbek-Maßnahmen /BKW 16/

Arbek-B beinhaltet die Systeme zur betrieblichen Kühlung und Reinigung des BE-Beckens. Arbek-B besteht aus dem BE-Becken-Kühl- und Reinigungssystem, welches Wärme an das Zwischenkühlwassersystem im Reaktorgebäude abgibt. Dieses überträgt die Wärme wiederum über das Hilfskühlwassersystem an die Aare.

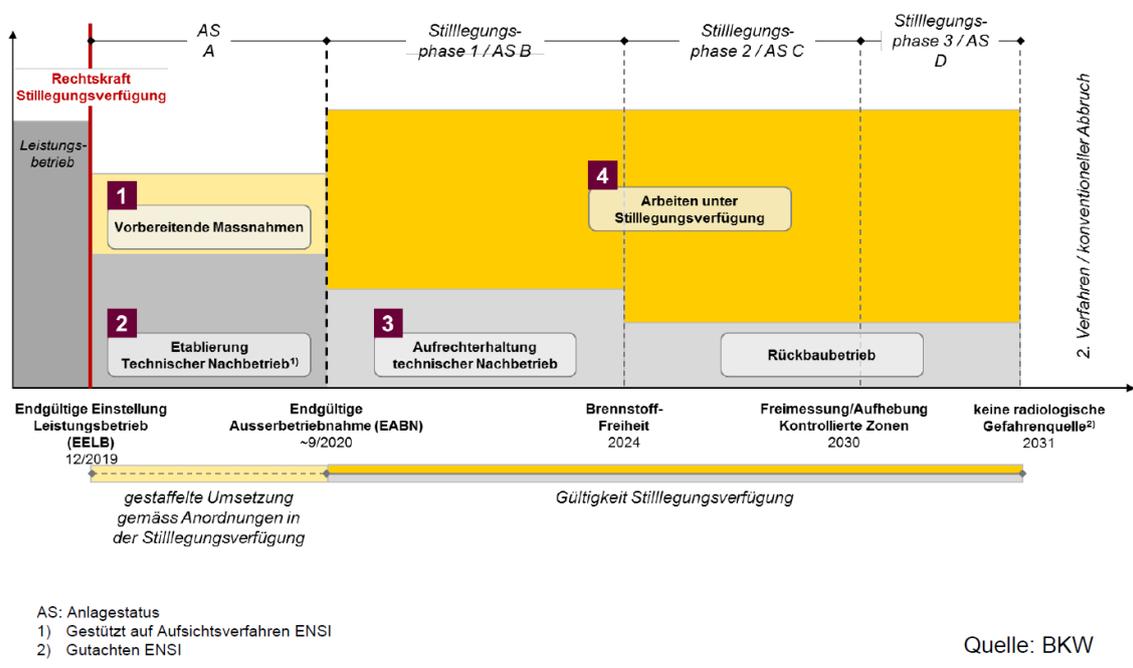
Arbek-S ist das Sicherheitssystem der Kühlung des BE-Beckens und besteht aus den im BE-Becken angeordneten Eintauchkühlern zur Abfuhr der Nachzerfallswärme, einem Rohrleitungssystem im Reaktorgebäude vom BE-Becken zum SUSAN-Notstandsgebäude, redundanten Kühlwasserpumpen und einem Zwischenkühler im SUSAN-Notstandsgebäude. Die elektrische Versorgung von Arbek-S erfolgt redundant mit zwei Notstandsdieselgeneratoren oder mit Accident Management Maßnahmen (AMM) mit dem AMM-Dieselgenerator. Aufgrund seiner redundanten Auslegung ist das Sicherheitssystem Arbek-S einzelfehlerfest.

Arbek-N ist die ergänzende Wasserversorgung des BE-Beckenkühlsystems und Nachspeisung des BE-Beckens im Notfall aus einer neuen ergänzenden Wasserversorgung vom Hochreservoir des KKW Mühleberg. Durch Arbek-N sind vielfältige Einspeisemöglichkeiten zur ergänzenden Wasserversorgung und Nachspeisung vorhanden.

Arbek-Z ist die Ergänzung der Beckenschleuse durch einen redundanten Zusatzverschluss zwischen Reaktorgrube und BE-Becken.

Arbek-R ist der Schutz der mit Arbek verbundenen sicherheitsrelevanten Systeme vor Rückwirkungen aus Tätigkeiten in der Anlage.

Die Installation des zusätzlichen BE-Beckenkühlkreises (Arbek-S) führt zu einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Sicherheitsfunktion „Nachwärmeabfuhr aus dem BE-Becken“. Die Möglichkeiten des Auftretens von relevanten Kühlmittleckagen werden durch die Begrenzung der Räumlichkeiten und der angeschlossenen Systeme sowie durch die Installation des Zusatzverschlusses (Arbek-Z) verringert.



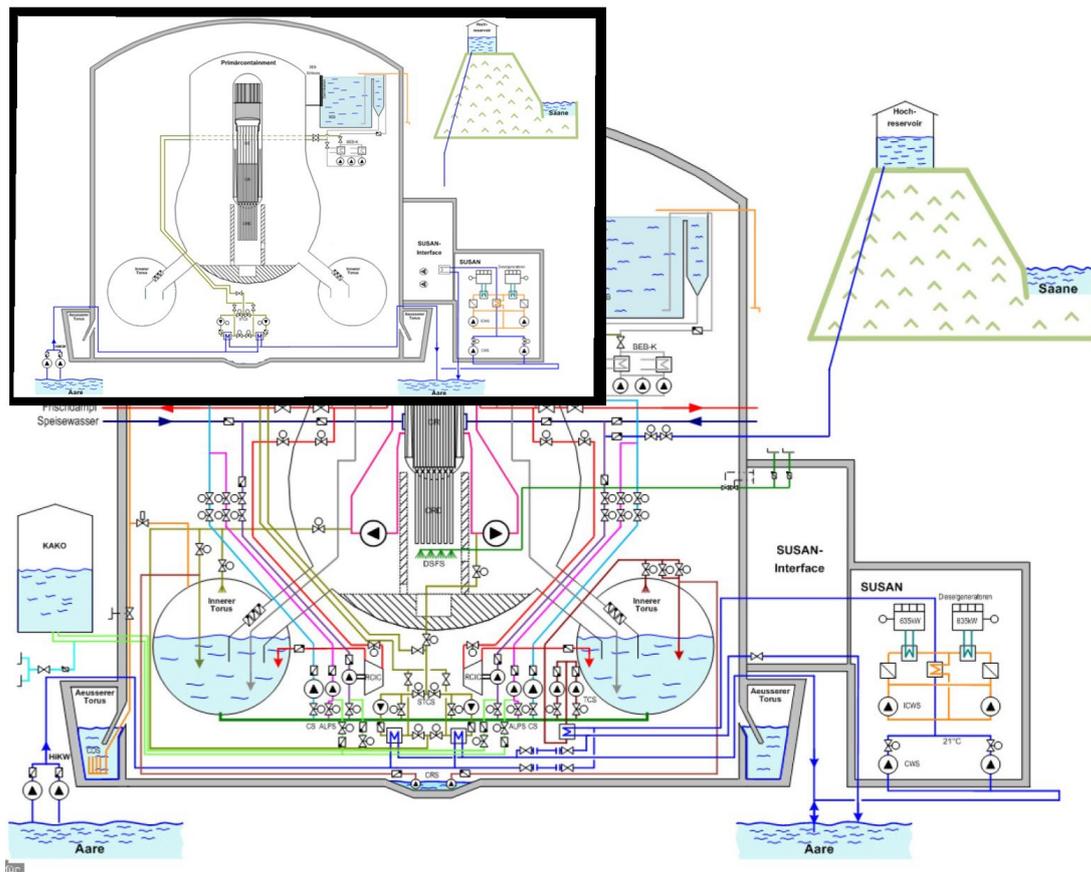
**Abb. 4.14** Stilllegungsphasen für das KKW Mühleberg /BKW 19/

Die geplanten Phasen der Stilllegung des KKW Mühleberg sind in Abb. 4.14 dargestellt. Nach dem Ende des Leistungsbetriebs im Dezember 2019 fanden als erste Phase die sogenannten „Vorbereitenden Massnahmen“ und parallel die Etablierung des technischen Nachbetriebs (EtNb) statt. Nach dieser Phase unter dem Dach der Betriebsbewilligung, die planmässig rund ein Dreivierteljahr andauern sollte, wird die endgültige Ausserbetriebnahme der Anlage festgestellt und die erste Phase (SP1) der Stilllegung beginnt. Durch die VM sollte die Kollektivdosis reduziert und die Materiallogistik auf- bzw. umgebaut werden. Hierbei wurde Kraftwerkspersonal eingesetzt. Demgegenüber orientieren sich die Arbeiten zur EtNb an der Einhaltung der Schutzziele: Kontrolle der Reaktivität, Kühlung der Brennelemente, Einschluss radioaktiver Stoffe und Begrenzung der Strahlenexposition. Die VM sind räumlich auf das Maschinenhaus beschränkt. Es fand dazu die Räumung im Maschinenhaus statt und die Materialbehandlung wurde aufgebaut. Alle Arbeitsschritte werden vom ENSI freigegeben. Zur EtNb wurde der Reaktor-druckbehälter ins BE-Becken entladen, die autarke, redundante BE-Beckenkühlung installiert und bewegliche Teile oberhalb von +29 m wurden entfernt. Eine Systemdekon-

tamination der Gesamtanlage ist nicht vorgesehen. Neben den Außerbetriebsetzungen und Demontagen im Maschinenhaus wurde die ursprüngliche Lagerhalle TA umgewidmet, um sie zur Pufferung von schwach radioaktiven, verpackten Materialien zu nutzen. Ein Freimessbereich und Freistellungsflächen wurden eingerichtet. Im Maschinenhaus wurden Anlagen zur Trocken- und Nassdekontamination aufgebaut. Dort werden ausgebaute Einzelteile dekontaminiert, da auf eine Systemdekontamination verzichtet wird.

Für die Anpassung an den Rest- und Abbaubetrieb nach Abschaltung mussten Änderungen an der Druckluft (Druckerhöhung und Kapazitätserhöhung) und an der Lüftung (Drucksenkung auf etwa die Hälfte) durchgeführt werden. Die Pumpen für das Druckluftnetz wurden in einer externen Halle platziert. Einige Systeme, welche etwa für die betriebliche Sicherheit installiert waren, wurden neu klassifiziert. Zur Kühlung des BE-Beckens wurden bis zur vollständigen Entladung zwölf Module Eintauchkühler verwendet, welche jeweils in eine BE-Abstellposition passen. Im Notstandsgebäude wurde das SUSAN-System für den Nach- und Restbetrieb umgebaut. Die Sicherheitssysteme während des Leistungs- und Nachbetriebs sind in Abb. 4.15 dargestellt. Das System Arbek-Z ist ein neuer Zusatzverschluss für das BE-Becken. Es trennt das BE-Becken von der Reaktorgrube. Eine Neukonstruktion war notwendig, weil die eigentliche Trennplatte aufgeschwemmt werden könnte.

Zur Notstromversorgung fällt ab dem Nachbetrieb ein Diesel weg. Es bestehen weiterhin drei feste Diesel und ein auf dem Dach installierter Diesel (überschwemmungssicher). Die 220 kV-Einspeisung soll abgebaut und nur noch die 16 kV-Leitung aus dem einen, benachbarten Wasserkraftwerk genutzt werden. Dies spart erhebliche Kosten, da kein externer Versorgungsdienstleister beteiligt ist.



**Abb. 4.15** Sicherheitssysteme im KKW Mühleberg Leistungsbetrieb (groß) und im Nachbetrieb (klein) /ENS 19/

Für die Freigabe der beantragten Maßnahmen während der SP1 musste vom Betreiber eine Vielzahl an Unterlagen beigebracht werden. Diese umfassen:

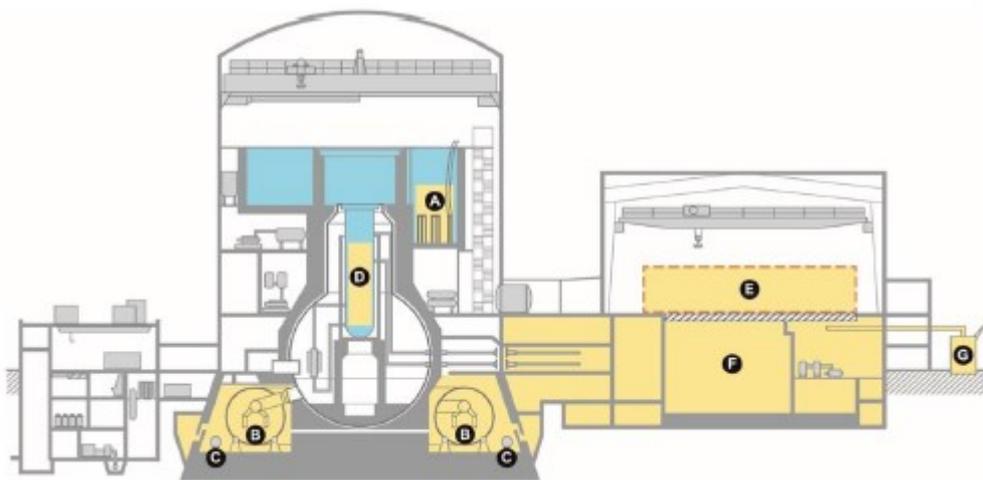
- Mantelbericht
- Geplante Arbeiten und Ablaufplan
- Sicherheitsbericht Revision a
- Aufbau und Betrieb der Materialbehandlungseinrichtungen
- Betriebsplan für die Aufrechterhaltung der notwendigen Infrastruktur
- Konzept Inaktiv-Freimessung
- Entsorgung der radioaktiven Abfälle
- Änderungsvorschlag für die Strahlenschutzordnung
- Transportwege und Pufferflächen

- Aktivitätsüberwachung
- Dosisschätzung
- Deterministische Sicherheitsanalyse des KKW Mühleberg
- Radiologische Sicherheitsanalyse (RSA) für die Stilllegung
- Probabilistische Sicherheitsanalyse Level 1 und Level 2 des KKW Mühleberg
- Systemliste
- Sicherheitsbericht Stilllegung
- Standortreglement KKW Mühleberg
- Änderungsvorschlag für das Qualitätsmanagementsystem am Standort des KKW Mühleberg
- Änderungsvorschlag Notfallordnung
- Aus- und Weiterbildungskonzept
- Menschliche und organisatorische Faktoren
- Außerbetriebnahme von (Teil)-Systemen (AÄX)
- Vorgaben zur Herstellung von mechanischen Trennstellen, Ausführung der Verschlüsse
- Vorgaben zur Außerbetriebnahme der elektro- und leittechnischen Komponenten
- Verfahren zur Demontage (AÄY)
- TS Änderungen für den Zeitraum SP1 (inklusive Technische Spezifikationen).

Der Umfang der begleitenden Unterlagen zum Antrag auf Stilllegungsbewilligung und zum Erhalt der Stilllegungsverfügung ist dem der begleitenden Unterlagen für einen Antrag auf Erteilung einer Stilllegungsgenehmigung in Deutschland sehr ähnlich. Die schweizerische Richtlinie ENSI-G17 /ENS 14/ regelt die Anforderungen an die Stilllegung von Kernanlagen. Sie regelt auch die detaillierten Anforderungen an die Gesuchsunterlagen für die Stilllegung.

In der ersten Phase der Stilllegung, in der sich noch Brennelemente im BE-Becken befinden, wurden Abbauarbeiten an folgenden Orten/Systemen durchgeführt (siehe Abb. 4.16):

- Im Reaktorgebäude -11 m-Ebene (C), inkl. Torus (B)
- Kerneinbauten (D)
- Im Maschinenhaus: Freiräume (F), Demontage Blocktransformator (G), Aufbau Materialbehandlung (E)
- Im BE-Becken: Ausladen und Abtransportieren der Brennelemente (A)



**Abb. 4.16** Abbaubereiche in der ersten Stilllegungsphase /ENS 19a/

Die Zerlegung der Kerneinbauten wurde (gemäß Planung) mit einer Portal-Seilsäge, einem Längstrenngerät, einem Quertrenngerät im Einbautenbecken und in der Reaktorgrube durchgeführt.

Für die Stilllegung werden die zulässigen Werte für Ableitungen mit der Fortluft und dem Abwasser gesenkt, mit Ausnahme der Aerosole, deren Werte gleichbleiben. In der SP1 werden noch Edelgase berücksichtigt, die in SP2, nach Entfernen aller Brennelemente, nicht mehr zu betrachten sind.

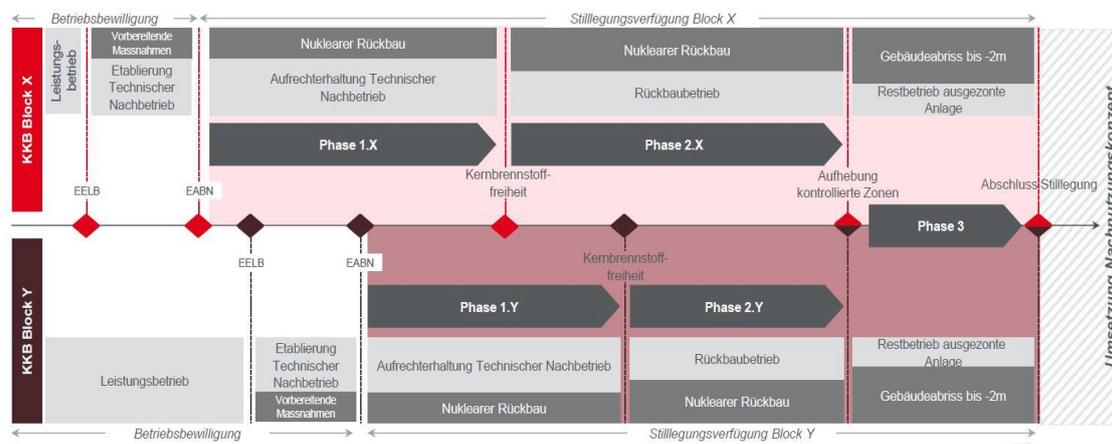
Die nukleare Stilllegung des KKW Mühleberg (Stilllegungsphase 2) soll bis 2030 abgeschlossen sein. Danach erfolgt der konventionelle Gebäudeabriss, welcher erneut beantragt und bewilligt werden muss, da er im Bewilligungsverfahren für die ersten beiden Phasen unberücksichtigt geblieben ist.

## Stilllegungspläne für die übrigen KKW der Schweiz

Seit der endgültigen Abschaltung des KKW Mühleberg sind noch die Anlagen in Beznau (zwei DWR-Blöcke), das KKW Gösgen (DWR, Siemens/KWU) und das KKW in Leibstadt (SWR) in Betrieb. Nach aktueller Planung ist jeweils für das KKW Gösgen und das KKW Leibstadt ein insgesamt 50-jähriger Betrieb vorgesehen, der bis 2029 respektive 2034 reichen würde, jedoch noch um zehn Jahre verlängert werden kann. Die beiden Blöcke in Beznau (KKB) wurden 1969 bzw. 1971 in Betrieb genommen, so dass deren Langzeitbetrieb nach 60 Jahren 2029, also in absehbarer Zeit, enden wird.

Die KEV sieht seit 2014 vor, dass bereits bei der Bauplanung ein Stilllegungsplan vorliegen muss und dass der Plan bzw. das Projekt alle zehn Jahre zu überprüfen und nachzuführen ist. Demnach werden alle in Betrieb befindlichen Anlagen nach und nach entsprechende Pläne vorlegen müssen.

Für KKB liegen bereits erste Pläne für die Stilllegung vor (genannt Projekt Heron). Ziel ist, frühzeitig ein Stilllegungsprojekt zu erstellen, um eine Stilllegungsverfügung noch vor der endgültigen Einstellung des Leistungsbetriebs zu erlangen und sich organisatorisch und technisch optimal auf die Stilllegung vorzubereiten. Eine mögliche Variante der gemeinsamen Stilllegungsplanung für die beiden KKB-Blöcke ist in Abb. 4.17 skizziert.



**Abb. 4.17** Vorläufige Phasenplanung für die Stilllegung von KKB X und Y (Quelle: Axpo)

Das Konzept sieht vor, die Blöcke voneinander und die BE-Becken vom jeweiligen Block zu autarkisieren.

Des Weiteren wurde ein Konzept ausgearbeitet u. a. zu folgenden Punkten:

- Sicherheitsgerichtete Herabstufung und Außerbetriebsetzung von Systemen zur EtNb
- Anlagencharakterisierung
- Primärkreislaufdekontamination
- Abbau
- Großkomponentenentsorgung
- Strahlenschutz
- Anpassung der Betriebsdokumentation
- Personalentwicklung
- Abfallentsorgung
- TLB-Beladestrategie

Für das sogenannte Projekt Heron wurden bis Ende 2019 etwa 70 % der notwendigen Unterlagen (Hintergrundberichte) erstellt und die Struktur des Stilllegungsprojektes lag vor. Die Inhalte dieser Unterlagen sollten bis Mitte 2020 vorliegen. Das Gleiche gilt für den Rahmenterminplan und die Stilllegungsvariante (industrielle Nachnutzung oder nicht). Der Abschluss der Tätigkeiten zur EtNb wurden am 15. September 2020 durch das ENSI bestätigt /AMH 21/.

**Tab. 4.3** Übersicht über die zeitliche Planung der schweizerischen KKW und der Zwischenlager /ENS 19c/

| Anlage           | IBN            | EELB<br>bis inkl. | Technischer<br>Nachbetrieb |                | Stilllegung bzw. Rückbau |   |
|------------------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------------|---|
|                  |                |                   | von                        | bis            | Abschluss<br>Stilllegung | Jahre ab EELB<br>bis Abschluss<br>Stilllegung |
| KKB 1+2          | 1969 /<br>1970 | 2029 /<br>2030    | 2029 /<br>2030             | 2033 /<br>2034 | 2043 /<br>2044           | 14  |
| KKM              | 1972           | 2019              | 2020                       | 2024           | 2031+X                   | 12+X  |
| KKG              | 1979           | 2029              | 2030                       | 2032           | 2040                     | 11  |
| KKL              | 1984           | 2034              | 2035                       | 2038           | 2049                     | 15  |
| KKG<br>Nasslager | 2008           | 2036              | -                          | -              | 2037                     | 1   |
| Zwibez           | 2008           | 2071              | -                          | -              | 2072                     | 1   |
| Zwilag           | 2000           | 2071              | -                          | -              | 2076                     | 5   |

Eine Übersicht über den Zeitplan der Stilllegung aller KKW und Zwischenlager in der Schweiz zeigt Tab. 4.3. In der Schweiz wird demnach mit einer Stilllegungsdauer von 11 bis 15 Jahren gerechnet.

### Stilllegung der schweizerischen nuklearen Forschungsanlagen

In der Schweiz wurden insgesamt sieben Forschungsanlagen betrieben, deren Betrieb in allen Fällen bereits eingestellt wurde /ENS 19c/. Der Reaktor VAKL in Lucens, sowie der Forschungsreaktor der Uni Genf wurden bereits vollständig abgebaut. Für alle weiteren Forschungsanlagen liegen Stilllegungsverfügungen vor. Einen Überblick über die stillgelegten bzw. in Stilllegung befindlichen Forschungsanlagen der Schweiz gibt Tab. 4.4.

**Tab. 4.4** Stilllegung Forschungsanlagen Schweiz

| Anlage   | Betriebszeit | Status der Stilllegung  |
|--|--------------|---|
| VAKL Lucens                                    | 1968 – 1969  | Entlassung KEG 1995/2004  |
| Uni Genf FR                                    | 1958 – 1987  | Entlassung KEG 1989   |
| PSI FR DIORIT                                  | 1960 – 1977  | Entfernung Komp./Einrichtungen im Rahmen der geltenden Stilllegungsverfügung<br>Wesentliche Projektänderung:<br>Gebäudeabbruch<br>→ neue Stilllegungsverfügung erforderlich |
| PSI FR SAPHIR                                  | 1957 – 1994  | Endphase<br>– Freimessung   |
| PSI Versuchs-<br>verbrennungs-<br>anlage (VVA) | 1974 – 2002  | Abbau Phase 2 (Verbrennungsofen) beendet<br>Beginn Abbau Phase 3 (Abgasfilter)<br>– Asbestproblematik   |
| PSI FR<br>PROTEUS                              | 1968 – 2011  | Stilllegungsverfügung rechtskräftig (Dez. 2017)<br>– Entsorgung Kernbrennstoff<br>– Abbau Phase 1 in Vorbereitung   |
| Uni Basel<br>FR AGN-211-P                      | 1960 – 2013  | Stilllegungsverfügung rechtskräftig (Feb. 2019)<br>– Abbau Phase 1 durchgeführt 06. – 09.2019<br>– Stilllegung abgeschlossen (2021)   |

Die Anlage SAPHIR am Paul-Scherrer-Institut befindet sich in der Endphase der Stilllegung. Es fanden ab 2020 Freimessungen im Gebäude statt. Als problematisch erweisen

sich hierbei offene Stellen zum Untergrund, die den Zutritt von Radon ermöglichen. Das Radon stört die Freimessung erheblich, so dass dafür zunächst ein Konzept zur Reduktion der Radonkonzentration erarbeitet werden muss. Ein Konzept zur Entfernung des Dekontanstrichs (PCB) ist weit fortgeschritten. Die PCB-Entfernung soll im Rahmen des konventionellen Gebäudeabbruchs erfolgen. Einen Eindruck vom aktuellen, entkernten Zustand des Gebäudes vermittelt Abb. 4.18.



**Abb. 4.18** Die aktuelle Situation in der Anlage SAPHIR

Die Stilllegung von SAPHIR soll bis Ende 2025 abgeschlossen sein. Für die Anlage DIORIT ist ein Abschluss des Abbaus nicht vor Ende 2030 in Sicht. VVA und PROTEUS befinden sich kurz vor dem Abschluss der Stilllegung.

### **Fazit**

Der Erfahrungsaustausch zwischen der GRS und dem schweizerischen ENSI brachte Erkenntnisse über die Aufgaben und Arbeitsweise dieser Behörde und zeigte auch die Unterschiede zum behördlichen System in Deutschland auf.

Der hohe Anteil an Deutschen, die beim ENSI arbeiten, verdeutlicht, dass angesichts des Ausstiegs aus der Kernenergie in Deutschland, Fachkräfte bereits ins benachbarte Ausland abwandern und andererseits auch, dass deutsche Fachkompetenz geschätzt wird.

Die Auswahl der Vorträge konnte vorab abgestimmt werden, so dass mit der Fokussierung auf die Stilllegung des KKW Mühleberg und die technischen und regulatorischen

Randbedingungen, alle für das Vorhaben relevanten Aspekte einbezogen werden konnten. Auch umgekehrt konnte den Wünschen an die GRS zu für das ENSI interessanten Inhalten mit passenden Vorträgen entsprochen werden.

Die Stilllegung in Anwesenheit von Brennelementen im Abklingbecken ist eine Gemeinsamkeit des ersten schweizerischen Abbauprojektes mit mehreren deutschen Anlagen in Stilllegung. Perspektivisch wird sich diese Herangehensweise möglicherweise in beiden Ländern künftig etablieren. Die Nutzung von Eintauchkühlern für das BE-Becken unterscheidet sich von der deutschen Herangehensweise. Die Zukunft wird zeigen, inwieweit der Abbaufortschritt davon profitieren kann.



## **5 Erstellung von Beiträgen zum nationalen Erfahrungsrückfluss**

Die auf internationaler Ebene erarbeiteten und veröffentlichten Erfahrungen und Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Stilllegung wurden laufend gesammelt und bezüglich der Übertragbarkeit auf die nationalen Stilllegungsprojekte ausgewertet. Durch die Erstellung von Beiträgen für und die Teilnahme an nationalen Veranstaltungen zur Stilllegung wird ein Beitrag zum nationalen Erfahrungsrückfluss geleistet. Hierzu wurde jeweils in den Jahren 2019 bis 2021 am Arbeitskreis „Stilllegung“ des Fachausschusses Reaktorsicherheit des Länderausschusses für Atomkernenergie teilgenommen und Beiträge in Form von Vorträgen geleistet. Die hierfür erstellten Präsentationen sind als Anlage diesem Abschlussbericht beigelegt /DEW 19/. Im Übrigen stellt dieser Bericht einen Beitrag zum Erfahrungsrückfluss dar.

### **5.1 62. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“**

An der 62. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ in Berlin am 30. Oktober 2019 nahm ein GRS-Mitarbeiter teil. Der mündliche Beitrag über internationale Aktivitäten der GRS entfiel aus Zeitgründen, die Präsentation wurde dem Sitzungsprotokoll angehängt. Diese umfasst Zusammenfassungen zur WGDECOM-Sitzung in Paris, zum IDN-WIKI-Workshop in Wien, zum COMDEC-Projekt-Treffen in Wien sowie zu einem Technical Meeting über Charakterisierungsmethoden und -technologien in Wien.

Da die Inhalte des WIKI-Workshops sowie zum COMDEC-Projekt-Treffen an anderer Stelle in diesem Bericht ausführlich wiedergegeben werden, wird darauf hier verzichtet.

Am 10. und 11. September 2019 fand in Fontenay-aux-Roses (Paris) das 9. WGDECOM-Treffen statt. Dabei handelte es sich um ein administratives Treffen zum Fortbestehen der Arbeitsgruppe nach der zurückliegenden Arbeitsperiode von 2016 bis 2019. Die WGDECOM hat das Ziel, ein Netzwerk aus Fachleuten in Strahlenschutz und Stilllegung zu erstellen. Zusammenfassend wurde das Erreichte der vergangenen Periode dargestellt. Unter anderem wurde ein FAQ-Bereich auf der ISOE-Seite erstellt und eine Liste zu standardisierten Stilllegungstätigkeiten zusammengetragen. Weiterhin wurden technische Anlagenbesichtigungen durchgeführt und der Austausch mit anderen internationalen Arbeitsgruppen vorangetrieben. Die gesteckten Ziele wurden erreicht.

Für die nächste Arbeitsphase (von 2020 bis 2023) wurden folgende neue „Terms of Reference“ formuliert:

- Identifikation der Bereiche im Strahlenschutz mit der größten Bedeutung für ein effektives Management der beruflichen Exposition
- Erfahrungsaustausch etablieren, um stete Verbesserung des Managements der beruflichen Exposition zu erreichen
- Verwaltung und Erweiterung des Fachleute-Netzwerkes
- Identifikation von Faktoren, die wichtig für das Erreichen von „good practices“ bei der Stilllegung unter gegebenen Randbedingungen sind

Beim Technical Meeting zu Charakterisierungsmethoden und -technologien wurde das IAEA Labonet-Netzwerk vorgestellt, welches unter der CONNECT-Plattform zu finden ist. Es enthält z. B. einen Katalog zu technischen Möglichkeiten, einen Leitfaden zur Probenahme sowie einen weiteren Leitfaden zur Datenqualität.

Ferner wurden Charakterisierungs- und Messmethoden zum Nachweis von Annahmefaktoren für radioaktive Abfälle vorgestellt sowie Methoden zur Charakterisierung von Altabfällen und Hinterlassenschaften zur weiteren Behandlung. Außerdem wurde diskutiert, wie die Charakterisierung in Abhängigkeit des Entsorgungspfadens variiert und wie die stoffliche Charakterisierung radioaktiven Abfalls technisch durchgeführt werden kann. Optimierungsmöglichkeiten auf den genannten Gebieten wurden ebenfalls besprochen.

Die folgenden Veranstaltungen aus 2019 wurden aufgeführt und deren Schwerpunkte genannt:

- DigiDecom (Halden, NO)
- Waste Management Symposium (Phoenix, USA)
- International Graphite Specialists Meeting (Brügge, BE)
- 35. Decommissioning & Radioactive Waste Management Summer School (Cambridge, UK)
- Technical Meeting „Achieving the Site End State“ (Dounreay, UK)

## **5.2 63. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“**

Ein Mitarbeiter der GRS hat im Rahmen der 63. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ vom 11. bis 12. März 2020 in Köln über neue Erkenntnisse aus dem internationalen Umfeld berichtet, insbesondere zu den Arbeitsergebnissen des IAEA-Projektes COMDEC, zum ENSI-GRS-Erfahrungsaustausch sowie zu den Arbeiten der ISOE-Arbeitsgruppe WGDECOM.

Über die Projekte und Arbeitsgruppen wurde bereits ausführlich an anderer Stelle berichtet und wird hier nicht wiederholt. Die Inhalte des für 2019 erstellten Vortrags über die WGDECOM wurden verkürzt vorgetragen und sind im vorangegangenen Kapitel 5.1 beschrieben.

## **5.3 65. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“**

Bei der 65. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“ am 4. März 2021 trug ein GRS-Mitarbeiter über internationale Aktivitäten im Bereich der Stilllegung vor /DEW 21/. Hierbei wurde über folgende, in diesem Bericht bereits ausführlich behandelte Veranstaltungen berichtet:

- ICOND 2020 (virtuell)
- IAEA IDN-WIKI (2019) und den Workshop zum Wissensmanagement (Dezember 2020, virtuell)
- OECD/NEA Arbeitsgruppen HDCS und EGKM (virtuell)

Des Weiteren wurde ausführlich über den EU Horizon 2020 Share Decommissioning Onlineworkshop berichtet, an dem die GRS vom 1. bis 2. Dezember 2020 im Rahmen des Vorhabens virtuell teilgenommen hat. Da hierüber in Kap. 4.3.1 berichtet wurde, wird darauf nicht näher eingegangen.

## **5.4 Fazit zum nationalen Erfahrungsrückfluss**

Um die beim internationalen Erfahrungsaustausch gewonnenen Informationen in nationale Diskussionen zurückfließen zu lassen, wurden verschiedene Wege genutzt. In erster Linie wurde der zweimal jährlich stattfindende Arbeitskreis „Stilllegung“ des Länderausschusses Atomkernenergie genutzt, um vor Vertretern von BMUV, BASE und den

Ländern über aktuelle internationale Aktivitäten der GRS zu berichten. Die internationalen Aktivitäten waren jeweils Teil der Tagesordnung eines der beiden Jahrestreffen. Die beschriebenen internationalen Aktivitäten waren nicht beschränkt auf die Aktivitäten, die mit diesem Vorhaben verknüpft sind. Somit konnten auch Informationen eingebracht werden, welche im Rahmen anderer Vorhaben gewonnen wurden.

Generell sind in diesem Vorhaben gewonnene Erkenntnisse als implizites Wissen im Fachgebiet Stilllegung der GRS vorhanden und werden auf diese Weise stets in kommende Arbeiten einfließen.

Das Konzept des Sammelns von Informationen auf internationaler Ebene durch Teilnahme und Mitarbeit an Projekten sowie Internetrecherche und des Rückflusses von Informationen bei nationalen Veranstaltungen wie dem Arbeitskreis „Stilllegung“ hat sich als sinnvolles Konzept erwiesen und soll im geplanten Nachfolgevorhaben weiterverfolgt werden.

## 6 Gesamtfazit

International werden in immer mehr Ländern die Herausforderungen der Stilllegung von KKW und Forschungsreaktoren erkannt und frühzeitig in den Blick genommen. Die Tendenz geht dabei immer mehr hin zum direkten und zeitnahen Abbau nach der endgültigen Abschaltung. Vom verzögerten Abbau wird auch in angelsächsischen Ländern wieder stärker abgerückt oder dieser wird wenigstens verkürzt. Den Hintergrund bilden hauptsächlich wirtschaftliche Gründe, da man erkannt hat, dass die Kosten „später“ eher höher, vor allem aber schwer zu planen sind. Dabei spielen z. B. regulatorische und personelle Unsicherheiten eine Rolle, Wissen muss für die Zukunft erhalten und abrufbar bleiben. In Ländern, die eine zukünftige Elektrizitätserzeugung aus Kernenergie planen, ist außerdem der gesellschaftliche Faktor relevant, dass die Industrie fähig ist zu zeigen, dass KKW sicher und nachhaltig abgebaut werden können. Auch in Deutschland ist der Sichere Einschluss für Leistungsreaktoren mit Abschaltung ab 2017 keine reguläre Option mehr. Bereits in den Anträgen ab 2011 spielte der Sichere Einschluss faktisch keine Rolle mehr in Deutschland und wurde auch zuvor nur in wenigen Fällen gewählt.

Eine Stilllegungsplanung bereits Jahre vor der endgültigen Abschaltung des Reaktors ist heute international häufig Voraussetzung für dessen Weiterbetrieb und wird auch praktiziert. Teilweise muss in regelmäßigen Abständen, etwa alle zehn Jahre, ein Stilllegungsplan vorgelegt werden. Auch in Deutschland wurde bzw. wird die Stilllegung vor einer längerfristig geplanten endgültigen Abschaltung bereits geplant und das Genehmigungsverfahren eingeleitet. Für viele KKW, die 2011 und teilweise auch davor abgeschaltet wurden, galt das allerdings nur bedingt, weil die Abschaltung ungeplant erfolgte. Das Design von Anlagen zur Sicherstellung ihrer späteren Stilllegbarkeit ist in Ländern mit Neubauten ein Thema, in Deutschland allenfalls für neue Forschungsreaktoren, die derzeit aber nicht in Planung sind.

In vielen Ländern wird die Digitalisierung für Vorbereitung und Durchführung der Stilllegung von Betreibern und privaten Abbauunternehmen vorangetrieben. Art und Ausprägung sind im Allgemeinen unterschiedlich. Propagiert wird oftmals ein ganzheitlicher Ansatz. Ausgangspunkt hierbei ist häufig die noch vollständige kerntechnische Anlage, die (halb-)automatisiert radiologisch und räumlich erfasst wird (etwa mit Gamma- und Laserkameras), woraus schließlich ein vollständiges 3D-Modell der Anlage mit ihren Komponenten erstellt wird („3D-BIM“). Als „Produkt“ entsteht damit ein Gesamtpaket, mit dessen Hilfe es möglich sein soll, Arbeiten vorab zu planen, Personaleinsatz und Expositionen abzuschätzen, Schnitte an Komponenten zu planen, Abfallgebundemengen zu

berechnen, etc. Bislang ist noch keine Stilllegung von Beginn bis zum Abschluss auf diese Weise durchgeführt worden, so dass fraglich bleibt, ob sich dieser Ansatz in der Praxis eines sich über Jahrzehnte erstreckenden Abbaus durchsetzen kann. Nach der Abschaltung der letzten KKW in Deutschland Ende 2022 wird sich deren Stilllegung noch über Jahrzehnte erstrecken. Die Computertechnik ist allgemein erheblich schneller als die Elektronik und Maschinenteknik (beim Abbau) in KKW. In Stilllegungsprojekten in Deutschland hat die Digitalisierung ebenfalls Einzug gehalten, jedoch bisher nicht in Form vollständiger 3D-Modelle, sondern für diskrete Teilbereiche, etwa zur Planung von fernbedienten Schnitten an Reaktordruckbehälterteilen. Autonome Robotersysteme werden zwar getestet (etwa im Karlsruher Anlagenkomplex durch das KIT) aber, nach GRS-Kennntnis, bisher nicht produktiv in der Stilllegung eingesetzt. Demgegenüber stehen beispielsweise Großbritannien oder die USA, die autonome Drohnen und „Rover“ in Sellafield bzw. Hanford einsetzen, um die radiologische Situation schnell zu erfassen. Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) werden in einigen Ländern bereits zu Trainingszwecken eingesetzt, um das Bewusstsein für Risikosituationen zu schärfen oder sich vorab mit räumlichen Gegebenheiten vertraut zu machen. Die Visualisierungsmöglichkeiten werden beispielsweise in der slowakischen Anlage V1 (Bohunice) auch genutzt, um der Öffentlichkeit die Abbaupläne deutlich zu machen.

In Diskussionen bei Workshops und in IAEA-Arbeitsgruppen wurden auch kritische Stimmen deutlich, die Probleme innovativer Technologien im Allgemeinen benannten. So sei es bisweilen schwieriger neue Verfahren gegenüber den etablierten genehmigen zu lassen, so dass Betreiber oder Abbaununternehmen davon zum Teil direkt absehen. Neue Technologie setzt sich nur dann durch, wenn sie wirtschaftliche Vorteile bringt oder ein bisher ungelöstes Problem lösen kann. Andererseits wäre deren Einsatz vor dem Hintergrund des ALARA-Prinzips im Strahlenschutz vielleicht sogar angezeigt, wenn etwa Personaleinsätze im Expositionsbereich verringert werden können. Im Spannungsfeld dieser Aspekte spielt auch das jeweilige kerntechnische bzw. Strahlenschutz-Regelwerk eine Rolle.

Insgesamt konnte der Vierklang aus Konferenzbesuchen, Internetrecherche, Mitarbeit in IAEA- und OECD/NEA-Arbeitsgruppen sowie persönlichem Erfahrungsaustausch auf Arbeitsebene („Hospitation“) interessante Erkenntnisse aus anderen Ländern liefern. Problematische bzw. herausfordernde Umstände werden eher bei persönlichen Gesprächen in Kleingruppen geteilt, die (meist positive) Präsentation des eigenen „Produk-

tes/Ergebnisses“ eher auf großen Konferenzen. Einblicke in Stilllegungstätigkeiten waren bei Anlagenbesichtigungen im Rahmen von Workshops möglich. Durch den gezielten Austausch auf technischer Ebene, hier beim Erfahrungsaustausch mit dem schweizerischen ENSI, konnten noch tiefere Einblicke erhalten werden. Weitere Hospitationen, etwa bei ausländischen Reaktoren in Stilllegung, konnten nicht realisiert werden. Deren Zustandekommen gestaltet sich schwierig und langwierig; durch die Covid-19-Pandemie wurde es praktisch unmöglich.

Die gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um Beiträge zum Arbeitskreis „Stilllegung“ zu erstellen. Diese Form des Erfahrungsrückflusses hat sich bewährt und soll beibehalten werden. Neben Beiträgen hierzu sowie zu Konferenzen, wurde auch ein Konferenzpapier zur DEM 2021 in Avignon, Frankreich angefertigt, welche dem internationalen Erfahrungsaustausch dienen.



## Literaturverzeichnis

- /AMH 21/ Amheld, U.: Kernkraftwerk Mühleberg/Schweiz, Paper zur KONTEC 2021, Dresden, September 2021.
- /AND 19/ Andreasson, M.: Norwegian Nuclear Decommissioning (NND), Decommissioning of Nuclear Facilities in Norway, iCOND 2019, 13.11.2019
- /BAS 22/ Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE): Auflistung kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland, Anlagen „In Stilllegung“, Stand: Januar 2022, [https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/kernanlagen-stilllegung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=28](https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/kernanlagen-stilllegung.pdf?__blob=publicationFile&v=28), zitiert am 04.03.2022.
- /BEL 20/ Bellona: Leningrad nuclear power plant shuts down its No 2 reactor for decommissioning, <https://bellona.org/news/nuclear-issues/2020-11-leningrad-nuclear-power-plant-shuts-down-its-no-2-reactor-for-decommissioning>, zitiert am 20.09.2021.
- /BEL 21/ Bellona: Leningrad nuclear plant advances on decommissioning its eldest reactor, <https://bellona.org/news/nuclear-issues/2021-08-leningrad-nuclear-plant-advances-on-decommissioning-its-eldest-reactor>, zitiert am 21.09.2021.
- /BER 19/ Bergh, N.: Westinghouse Electric Company, Sweden, Demolition of the Biological Shield at the SVAFO R2 Research Reactor in Sweden, KONTEC 2019, 27. – 29. März 2019.
- /BKW 16/ BKW: Stilllegung des KKM, Stilllegungsprojekt Hauptbericht, März 2016.
- /BRD 19/ Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage, Drucksache 19/10104, <http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/19/101/1910104.pdf>, 10.05.2019.
- /CHI 19/ Chi, Y. C.: Atomic Energy Council Taiwan, Current Status of Nuclear Decommissioning in Taiwan, iCOND 2019, 13.11.2019.

- /CIA 19/ Li, R., China Institute of Atomic Energy, The Decommissioning Planning of 101 Heavy Water Research Reactor, iCOND 2019, 13.11.2019.
- /COM 21/ COMDEC-Projekt der IAEA, Berichtsentwurf, Stand: 27.09.2021.
- /DEW 20/ Dewald, M., Imielski, P.: GRS gGmbH, Bericht über die Teilnahme am IAEA Technical Meeting „Achieving the Site End State: Characterisation Strategies and Instrumentation for Land Contamination“ vom 7. bis 11. Oktober 2019 in Thurso/Dounreay, UK, Januar 2020.
- /DEW 21/ Dewald, M.: GRS gGmbH, TOP 7 – Internationale Aktivitäten. 65. Sitzung des Arbeitskreises „Stilllegung“, 04.03.2021.
- /DIT 20/ Dittmann, B., Schneider, S.: GRS gGmbH, Kurzbericht zur ICOND 2020 Köln, Dezember 2020.
- /DUX 19/ Dux, J.: BKW Energie AG, Kernkraftwerk Mühleberg, Die erste Stilllegung eines Leistungsreaktors in der Schweiz, VDI Fachtagung 2019, 09.07.2019.
- /EDF 20/ Électricité de France: Stilllegungsplan für das Kraftwerk Fessenheim <https://www.edf.fr/de/groupe-edf/nos-energies/carte-de-nos-implantations-industrielles-en-france/centrale-nucleaire-de-fessenheim/actualites/der-aktualisierte-stilllegungsplan-fur-das-kraftwerk-fessenheim-ist-dem-asn-mitgeteilt-words>, zitiert am 12.06.2020.
- /ENS 14/ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat: ENSI-G17, Stilllegung von Kernanlagen - Richtlinie für die schweizerischen Kernanlagen, April 2014.
- /ENS 19/ Ernst-Simonnot, T.: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg: Vorbereitende Massnahmen (VM), Austausch ENSI/GRS, Brugg, 19. bis 20. November 2019.
- /ENS 19a/ Ernst-Simonnot, T.: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg: Stilllegungsphase 1 (SP1), Austausch ENSI/GRS, Brugg, 19. bis 20. November 2019.

- /ENS 19c/ Minges, J.: Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Stilllegung und Abbau von Forschungsanlagen – Weiterbetrieb der übrigen KKW, Austausch ENSI/GRS, Brugg, 19. bis 20. November 2019.
- /FDE 20/ Florida Department of Environmental Protection: Crystal River Energy Complex/Citrus Combined Cycle Plant, <https://floridadep.gov/air/siting-coordination-office/content/crystal-river-energy-complexcitrus-combined-cycle-plant>, zitiert am 30.07.2020.
- /GRS 22/ GRS gGmbH: Das GRS-Stilllegung-WIKI, <https://Stilllegung-WIKI.grs.de/WIKI>, (zugangsbeschränkt) zitiert am 02.02.2022.
- /GRS 22a/ Sentuc, F.-N. et al.: GRS gGmbH, Abschlussbericht zum Vorhaben 4719R01330, In Erstellung, Köln, März 2022.
- /HOL 21/ Holtec International: Holtec Acquires the Three-Reactor Indian Point Energy Center (IPEC) Site, <https://holtecinternational.com/2021/05/28/holtec-acquires-the-three-reactor-indian-point-energy-center-ipec-site/>, zitiert am 06.11.2021.
- /HOL 21a/ Holtec International: The Last Operating Reactor at Indian Point Shuts Down Tonight, <https://holtecinternational.com/2021/04/30/the-last-operating-reactor-at-indian-point-shuts-down-tonight/>, zitiert am 06.11.2021.
- /IAE 19/ International Atomic Energy Agency (IAEA): CONNECT Website, Auflistung und Verknüpfungen zu den Präsentationen des 13. Jahrestreffens des IDN, <https://nucleus.iaea.org/sites/connect-members/IDN/Pages/13th-IDN-Annual-Forum.aspx>, zitiert am 20.01.2020.
- /IAE 20/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Technical Meeting on Advancing Collaboration on Competence Building and Knowledge Management for Decommissioning [EVT1905499], 8. – 11. Dezember 2020, Agenda, 7. Dezember 2020.
- /IAE 20A/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Bildschirmfoto der IDN-Wiki-Seite „Safety Management“, zitiert am 18. Mai 2020

- /IAE 22/ International Atomic Energy Agency (IAEA): Power Reactor Information System (PRIS), <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics>, zitiert am 28.01.2022.
- /ICO 21/ International Conference on Nuclear Decommissioning 2021: <http://www.icond.de/>, zitiert am 22.02.2022.
- /IDN 20/ IDN-WIKI (IAEA): Bohunice-1 Steckbrief, <https://idn-wiki.iaea.org/WIKI/Bohunice-1>, (zugangsbeschränkt), zitiert am 30.07.2020.
- /IDN 20a/ IDN-WIKI (IAEA): Bohunice-2 Steckbrief, <https://idn-wiki.iaea.org/WIKI/Bohunice-2>, 30.07.2020.
- /IGN 20/ Ignalinos Atomine Elektrine (IAE), Deep geological repository, <https://www.iae.lt/en/activity/decommissioning-projects/deep-geological-repository/424>, zitiert am 01.07.2020.
- /IMI 20/ Imielski, P: GRS gGmbH, Bericht über die Teilnahme an dem „Second Technical Meeting on the International Project on Completion of Decommissioning (COMDEC)“, IAEA Wien, 23. bis 27. September 2019, Juni 2020.
- /ITV 21/ ITV News: Decommissioning Dungeness: Nuclear power station will need 'hundreds of staff for decades', <https://www.itv.com/news/meridian/2021-07-12/dungeness-nuclear-power-station-will-still-need-hundreds-of-staff-for-decades>, zitiert am 03.01.2022.
- /JAV 20/ Jadrová a vyradovacia spoločnosť, a. s., (JAVYS, a. s.): Annual Report 2019, 03.06.2020.
- /KEP 19/ Kyushu Electric Power Co., Inc.: Introduction to Genkai Nuclear Power Station, [http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0246/5951/genkai\\_gaiyou-ei.pdf](http://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0246/5951/genkai_gaiyou-ei.pdf), zitiert im September 2019.

- /KON 19/ 14. Internationales Symposium: „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ einschließlich 14. Statusbericht des BMBF „Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen“, Dresden, 27. bis 29. März 2019.
- /KON 21/ 15. Internationales Symposium: „Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle“ einschließlich 15. Statusbericht des BMBF „Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen“, Dresden, 25. bis 27. August 2021.
- /KRU 19/ Kruse, M., Little, A. D.: Perspectives on the Market and Future Prospects of nuclear Decommissioning, iCOND 2019, 12. November 2019.
- /KWW 21/ KWWL Television Inc.: As decommissioning process continues, Duane Arnold Energy Center eliminates more jobs, <https://kwwl.com/2021/05/04/as-decommissioning-process-continues-duane-arnold-energy-center-eliminates-more-jobs/>, zitiert am 21. September 2021.
- /LAS 19/ Lasyte, D.: SE Ignalina Nuclear Power Plant, Decommissioning of the Ignalina NPP – Planning and Execution, iCOND 2019, 13.11.2019.
- /NEA 22/ OECD/NEA: NEA Mandates and Structures, <https://www.oecd-nea.org/tools/mandates/>, zitiert am 26.01.2022.
- /NEE 21/ Next Era Energy Resources: Duane Arnold Energy Center Decommissioning, <https://www.nexteraenergyresources.com/pdf/DA-Decommissioning-Fact-Sheet.pdf>, zitiert am 21.09.2021.
- /NEI 20/ Nuclear Engineering International: Decommissioning milestone at Slovakia's Bohunice VI, <https://www.neimagazine.com/news/newsdecommissioning-milestone-at-slovakias-bohunice-vi-7955839>, 04.06.2020.
- /NEI 20a/ Nuclear Engineering International: French regulator requests improvement in EDF's Fessenheim decommissioning plan, <https://www.neimagazine.com/news/newsfrench-regulator-requests-improvement-in-edfs-fessenheim-decommissioning-plan-7764681>, zitiert am 23.10.2020.

- /NFS 18/ Nuklearforum Schweiz: USA: Stilllegungsankündigung für Duane Arnold, <https://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/usa-stilllegungsankuendigung-fuer-duane-arnold>, zitiert am 21.09.2021.
- /NRC 19/ U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC): Crystal River Unit 3 Nuclear Generating Plant, <https://www.nrc.gov/info-finder/decommissioning/power-reactor/cr3.html>, zitiert am 19.11.2019.
- /NSE 20/ NS Energy: Sweden prepares for a decade of nuclear decommissioning, Webartikel, <https://www.nsenergybusiness.com/news/nuclear-decommissioning-sweden/>, zitiert am 27.02.2020.
- /REU 21/ Reuters: EDF Energy scraps plans to restart Dungeness B nuclear plant <https://www.reuters.com/business/energy/edf-energy-starts-defuelling-phase-dungeness-b-with-immediate-effect-2021-06-07/>, zitiert am 03.01.2022.
- /SCH 19/ Schneider, S. et al.: GRS gGmbH, Abschlussbericht zum Vorhaben 4716R01324, Internationaler Erfahrungsaustausch und Weiterentwicklung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Stilllegung kerntechnischer Anlagen, Köln, März 2019.
- /SCH 19a/ Schneider, S.: GRS gGmbH, Reisebericht zur Teilnahme am Erfahrungsaustausch ENSI-GRS, in Brugg, Schweiz, 19. und 20. November 2019, Dezember 2019.
- /SCH 20/ Schneider, S.: GRS gGmbH, The GRS Decommissioning WIKI, Vortrag zum IAEA Technical Meeting „Advancing Collaboration on Competence Building and Knowledge Management for Decommissioning“, Köln, Dezember 2020.
- /SCI 20/ Sierra Club Iowa Chapter: Duane Arnold Nuclear Plant Decommissioning, <https://www.sierraclub.org/iowa/duane-arnold-nuclear-power-plant-decommissioning>, zitiert am 21.09.2021.

- /SPA 21/ Spanier, R., Dittmann, B., Schneider, S.: GRS gGmbH, Development and Implementation of a Knowledge Management System for Decommissioning based on a Semantic WIKI, Konferenzpapier, DEM 2021, Köln, Juni 2021.
- /SPG 20/ S&P Global: Storm damage prompts NextEra Energy to shut Duane Arnold nuclear plant early, <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/082520-storm-damage-prompts-nextera-energy-to-shut-duane-arnold-nuclear-plant-early>, zitiert am 21.09.2021.
- /TAI 16/ Taipei Times: Nuclear power rotation plan mullied, <http://www.taipeitimes.com/News/front/archives/2016/05/28/2003647293>, <http://www.taip-eitimes.com/News/front/archives/2016/05/28/2003647293> 28.05.2016.
- /WNA 21/ World Nuclear Association (WNA): Nuclear Power in Russia, <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx>, zitiert am 17.09.2021.
- /WNN 16/ World Nuclear News (WNN): Court rules against Entergy on Indian Point licence renewal, <https://www.world-nuclear-news.org/RS-Court-rules-against-Entergy-on-Indian-Point-licence-renewal-2311167.html>, 23.11.2016.
- /WNN 19/ World Nuclear News (WNN): Accelerated decommissioning for Crystal River, <https://world-nuclear-news.org/Articles/Accelerated-decommissioning-for-Crystal-River>, 31.05.2019.
- /WNN 19a/ World Nuclear News (WNN): Genkai 2 to be decommissioned, <https://world-nuclear-news.org/Articles/Genkai-2-to-be-decommissioned>, zitiert am 19.10.2021.
- /WNN 20/ World Nuclear News (WNN): NRC approves Crystal River licence transfer, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/NRC-approves-Crystal-River-licence-transfer>, 02.04.2020.

/WNN 21/ World Nuclear News (WNN): Indian Point sale completed as decommissioning under way, <https://world-nuclear-news.org/Articles/Indian-Point-sale-completed-as-decommissioning-und>, 04.01.2022.

/WNN 21a/ World Nuclear News (WNN): Leningrad 2 defuelling begins, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Leningrad-2-defuelling-begins>, zitiert am 05.01.2022.

## Abbildungsverzeichnis

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Abb. 3.1  | Unterschiede bei der zerstörenden- und nicht-zerstörenden Charakterisierung radioaktiver Abfälle im Rahmen der Nachqualifizierung /DIT 20/.....  | 34  |
| Abb. 4.1  | Typischer Verlauf des Personalbedarfs für die Stilllegung von Leichtwasserreaktoren /IAE 19/ .....   | 45  |
| Abb. 4.2  | Hauptseite „Safety management“ im IDN-WIKI.....  | 58  |
| Abb. 4.3  | Einfluss der Strategie auf die Kosten .....  | 61  |
| Abb. 4.4  | Das sogenannte „Mural“ der Gruppe C, eine virtuelle Post-It-Wand.....  | 63  |
| Abb. 4.5  | COMDEC-Projektstruktur.....  | 70  |
| Abb. 4.6  | Externe Aspekte bei der Festlegung des Endzustandes /COM 21/ .....   | 74  |
| Abb. 4.7  | Schema zur Vorgehensweise bei der Herbeiführung des Endzustandes /COM 21/.....   | 75  |
| Abb. 4.8  | (left) Flow chart showing the clean-up process as part of the release of sites from regulatory control on termination of a practice (IAEA, No. WS-G-5.1); (right) Flow chart of the process of restricted use of the sites. .... | 77  |
| Abb. 4.9  | Struktur der OECD/NEA-Komitees und untergeordneter Arbeits- und Expertengruppen /NEA 21/ .....   | 81  |
| Abb. 4.10 | Themenfelder des SHARE-Workshops 2020 /DEW 21/ .....   | 105 |
| Abb. 4.11 | Gruppenarbeit beim SHARE-Workshop mit „Murals“ /DEW 21/ .....  | 106 |
| Abb. 4.12 | Roadmap der Maßnahmen im Themenblock Characterisation during Decommissioning .....   | 108 |
| Abb. 4.13 | Arbek-Maßnahmen /BKW 16/ .....   | 111 |
| Abb. 4.14 | Stilllegungsphasen für das KKW Mühleberg /BKW 19/ .....  | 112 |
| Abb. 4.15 | Sicherheitssysteme im KKW Mühleberg Leistungsbetrieb (groß) und im Nachbetrieb (klein) /ENS 19/.....   | 114 |
| Abb. 4.16 | Abbaubereiche in der ersten Stilllegungsphase /ENS 19a/ .....  | 116 |
| Abb. 4.17 | Vorläufige Phasenplanung für die Stilllegung von KKB X und Y (Quelle: Axpo).....   | 117 |
| Abb. 4.18 | Die aktuelle Situation in der Anlage SAPHIR .....  | 120 |



## **Tabellenverzeichnis**

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Tab. 4.1 | COMDEC-Projektaktivitäten nach Datum.....  | 71  |
| Tab. 4.2 | Liste der behandelten Themen .....   | 106 |
| Tab. 4.3 | Übersicht über die zeitliche Planung der schweizerischen KKW und<br>der Zwischenlager /ENS 19c/..... | 118 |
| Tab. 4.4 | Stilllegung Forschungsanlagen Schweiz.....   | 119 |



## Abkürzungsverzeichnis

|               |  |
|---------------|--|
| ADP           | Acelerated Decommissioning Partners LLC  |
| AGR           | Advanced Gas-cooled Reactor  |
| AiNT          | Aachen Institute for Nuclear Training GmbH   |
| ALARA         | As Low As Reasonably Achievable  |
| AMM           | Accident Management Maßnahmen  |
| AMS           | Accelerator Mass Spectrometry  |
| ANS           | Autorité de sûreté nucléaire   |
| AR            | Augmented Reality  |
| AtDeckV       | Deckungsvorsorge-Verordnung  |
| AtG           | Atomgesetz   |
| BFE           | Bundesamt für Energie  |
| BGZ           | Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH  |
| BIM           | Building Information Management (Gebäudeinformationsmanagement)                                      |
| C&M           | Care & Maintenance   |
| CDI           | Comprehensive Decommissioning International, LLC   |
| CDLM          | Committee on Decommissioning of Nuclear Installations and Legacy Management                          |
| CIAE          | China Institute of Atomic Energy   |
| COMDEC        | International Project on Completion of Decommissioning   |
| CSM           | Conceptual Site Model  |
| CWG           | Coordinating Working Group   |
| DERES         | Definition of Environmental Remediation End States   |
| DF            | Dekontfaktoren   |
| DAS           | Direktoratet for stralevern og atomsikkerhet   |
| DWR           | Druckwasserreaktor   |
| EDF           | Électricité de France  |
| EGKM          | Expert Group on Knowledge Management for Radioactive Waste Management Programmes and Decommissioning |
| EGLM          | Expert Group Legacy Management   |
| EGRRS         | Expert Group on the Application of Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-end               |
| ENSI          | Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat  |
| EntsorgFondsG | Entsorgungsfondsgesetz   |
| EstG          | Einkommensteuergesetz  |
| EtNb          | Etablierung des technischen Nachbetriebs   |

|         |  |
|---------|--|
| EU      | Europäische Union  |
| FANC    | Belgian Federal Agency for Nuclear Control   |
| FMBC    | Federal Medical Biophysical Center   |
| FSD     | Full System Decontamination  |
| GIS     | Geographic Information Systems   |
| HDCS    | Expert Group on a Holistic Process for Decision Making on Decommissioning and Management of Complex Site |
| HDI     | Holtec Decommissioning International, LLC  |
| HRP     | Halden Reactor Project   |
| HSI     | Holtec Security International  |
| HSK     | Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen  |
| HTO     | Halden Technology Organisation   |
| HWRR    | Heavy Water Research Reactor   |
| IAEA    | International Atomic Energy Agency   |
| IDN     | International Decommissioning Network  |
| IFE     | Institute for Energy Technology  |
| IPEC    | Indian Point Energy Center   |
| ISFSI   | Independent Spent Fuel Storage Installation  |
| ISOE    | Information System on Occupational Exposure  |
| JAVYS   | Jadrová a vyřadovací spoločnosť  |
| KEV     | Kernenergieverordnung (Schweiz)  |
| KI      | Künstliche Intelligenz   |
| KIT     | Karlsruher Institut für Technologie  |
| KKW     | Kernkraftwerk(e)   |
| MIRDEC  | Decommissioning of Small Medical, Industrial and Research Facilities                                     |
| MPC     | Multi Purpose Canister   |
| NDA     | Nuclear Decommissioning Authority  |
| NEA     | Nuclear Energy Agency  |
| NND     | Norwegian Nuclear Decommissioning  |
| NRC     | U.S. Nuclear Regulatory Commission   |
| ODL     | Ortsdosisleistung  |
| OECD    | Organisation for Economic Co-operation and Development   |
| P&DGNAA | Prompt & Delayed Gamma Neutron Activation Analysis   |
| PCB     | Polychlorierte Biphenyle   |
| PRIS    | Power Reactor Information System   |
| RAW     | Radioaktive Abfälle  |
| RRS     | Robotics and Remote Systems in the Nuclear Back-end  |

|       |  |
|-------|--|
| RSA   | Radiologische Sicherheitsanalyse   |
| RWM   | Radioactive Waste Management   |
| RWMC  | Radioactive Waste Management Committee   |
| RWMO  | Radioactive Waste Management Organisation  |
| SSM   | Swedish Radiation Safety Authority   |
| STC   | Standing Technical Committees  |
| SWR   | Siedewasserreaktor   |
| TLB   | Transport- und Lagerbehälter   |
| VM    | Vorbereitende Maßnahmen  |
| VR    | Virtuelle Realität   |
| VVA   | Versuchsverbrennungsanlage   |
| WINS  | World Institute for Nuclear Safety   |
| WPDD  | Working Party on Decommissioning and Dismantling   |
| WPTES | Working Party on Technical, Environmental and Safety Aspects of De-commissioning and Legacy Management |

**Gesellschaft für Anlagen-  
und Reaktorsicherheit  
(GRS) gGmbH**

Schwertnergasse 1  
**50667 Köln**

Telefon +49 221 2068-0

Telefax +49 221 2068-888

Boltzmannstraße 14

**85748 Garching b. München**

Telefon +49 89 32004-0

Telefax +49 89 32004-300

Kurfürstendamm 200

**10719 Berlin**

Telefon +49 30 88589-0

Telefax +49 30 88589-111

Theodor-Heuss-Straße 4

**38122 Braunschweig**

Telefon +49 531 8012-0

Telefax +49 531 8012-200

[www.grs.de](http://www.grs.de)